



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA
FASA METODE *NEWTON-RAPHSON* UNTUK MEMPERBAIKI
PROFIL TEGANGAN MENGGUNAKAN REKONFIGURASI
JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK**

Ainul Yaqin
NRP 2213105079

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF THREE PHASE RADIAL LOAD FLOW IN
DISTRIBUTION NETWORK USING *NEWTON-RAPHSON*
METHOD FOR IMPROVING VOLTAGE PROFILE WITH
NETWORK RECONFIGURATION AND CAPACITOR
PLACEMENT**

Ainul Yaqin
NRP 2213105079

Supervisors
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**STUDI ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA
METODE NEWTON-RAPHSON UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL
TEGANGAN MENGGUNAKAN REKONFIGURASI JARINGAN
DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK**

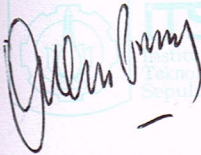
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

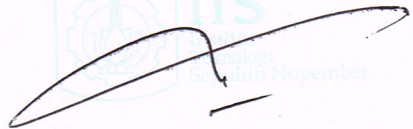
**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

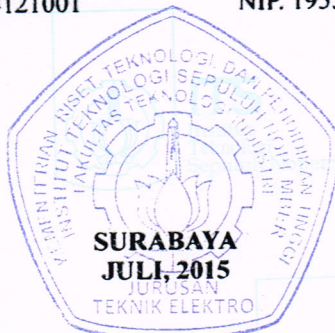


Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc.Ph.D
NIP.194907151974121001

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004



STUDI ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA METODE *NEWTON-RAPHSON* UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN MENGUNAKAN REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK

Nama Mahasiswa : Ainul Yaqin
NRP : 2213105079
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
NIP : 194907151974121001
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP : 195512071980031004

ABSTRAK

Analisa aliran daya merupakan bagian yang penting dalam melakukan desain dan operasi pada sistem distribusi tenaga listrik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk analisa aliran daya adalah metode *Newton-Raphson*. Metode tersebut umumnya digunakan untuk analisa sistem transmisi. Karena topologi sistem distribusi yang berbeda dengan transmisi maka, analisa aliran daya klasik tidak selalu dapat digunakan untuk sistem distribusi. Sistem distribusi umumnya radial dan beroperasi pada tegangan menengah serta tersambung dengan beban, oleh karena itu profil tegangan harus dijaga pada standart yang diperbolehkan. Pada tugas akhir ini diusulkan analisa aliran daya sistem distribusi radial tiga fasa seimbang dengan metode *Newton-Raphson* untuk aplikasi perbaikan profil tegangan pada bus dengan cara melakukan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank. Penelitian ini menggunakan IEEE 16 bus modifikasi untuk uji coba. Hasilnya metode *Newton-Raphson* dapat digunakan untuk aplikasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank. Hal tersebut dapat dilihat dengan validasi dengan ETAP yang menghasilkan kesalahan perhitungan terbesar dengan nilai 0,03285%. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank secara bersamaan akan menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih besar.

Kata Kunci : Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi, Rekonfigurasi jaringan, Kapasitor Bank

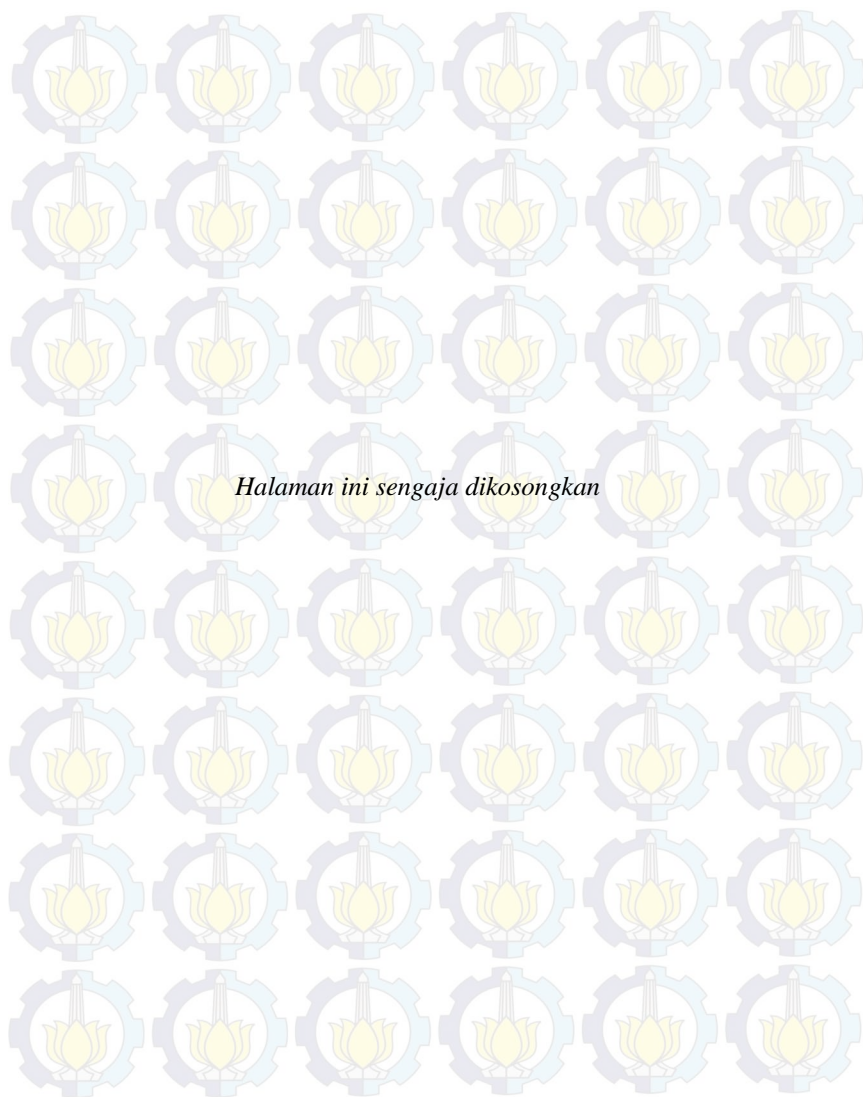
STUDI ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA METODE *NEWTON-RAPHSON* UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN MENGUNAKAN REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK

Nama Mahasiswa : Ainul Yaqin
NRP : 2213105079
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
NIP : 194907151974121001
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP : 195512071980031004

ABSTRAK

Analisa aliran daya merupakan bagian yang penting dalam melakukan desain dan operasi pada sistem distribusi tenaga listrik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk analisa aliran daya adalah metode *Newton-Raphson*. Metode tersebut umumnya digunakan untuk analisa sistem transmisi. Karena topologi sistem distribusi yang berbeda dengan transmisi maka, analisa aliran daya klasik tidak selalu dapat digunakan untuk sistem distribusi. Sistem distribusi umumnya radial dan beroperasi pada tegangan menengah serta tersambung dengan beban, oleh karena itu profil tegangan harus dijaga pada standart yang diperbolehkan. Pada tugas akhir ini diusulkan analisa aliran daya sistem distribusi radial tiga fasa seimbang dengan metode *Newton-Raphson* untuk aplikasi perbaikan profil tegangan pada bus dengan cara melakukan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank. Penelitian ini menggunakan IEEE 16 bus modifikasi untuk uji coba. Hasilnya metode *Newton-Raphson* dapat digunakan untuk aplikasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank. Hal tersebut dapat dilihat dengan validasi dengan ETAP yang menghasilkan kesalahan perhitungan terbesar dengan nilai 0,03285%. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank secara bersamaan akan menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih besar.

Kata Kunci : Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi, Rekonfigurasi jaringan, Kapasitor Bank



STUDY OF THREE PHASE RADIAL POWER FLOW IN DISTRIBUTION NETWORK USING NEWTON- RAPHSON METHOD FOR IMPROVING VOLTAGE PROFILE WITH NETWORK RECONFIGURATION AND CAPACITOR PLACEMENT

Student Name : Ainul Yaqin
Id Number : 2213105079
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Id Number : 19490715 197412 1 001
Supervisor II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
Id Number : 19551207 198003 1 004

ABSTRACT

Power flow analysis is the important part of distribution systems design and operation. The one of popular power flow method is Newton-Raphson. This method generally used in transmission systems analysis but, distribution system has the defferent characteristhic that regular newton-raphson can't handle. Distribution system operating in middle voltage level, radial structure and connected directly to load, so the voltage profile is should be in a range of standart . This research proposed modified Newton-Raphson power flow method is used to improve voltage profile witch reconfiguration and capacitor placement. This research using IEEE 16 bus modified to test proposed method. The result is Newton-Raphson is effective can be applied to reconfiguration and capacitor placement. The validation with ETAP show that the biggest error of method was 0,03285%. Reconfiguration and capacitor placement simultaneously can improve average voltage profile for each bus.

Keywords : Distribution Power Flow Analysis, Reconfiguration, Capacitor Bank



KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Metode *Newton-Raphson* Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Menggunakan Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan Kapasitor Bank**”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Bapak dan Ibu, Moh. Arifin, Rahmatul Ummah, serta seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Dr. Ir. Soedibyo M.MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam tugas akhir.
4. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
5. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT., Suyanto ST., MT. dan Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, dan yang telah memberikan dukungan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Keluarga Laboratorium simulasi B103, albert, khakim, surya, citra, ayla, reyhan, nani, fadhli, dan kharis serta trainee 2012 serta 2013 yang sudah banyak membantu.
7. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS baik LJ maupun Reguler yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
8. Semua rekan-rekan kuliah yang sudah banyak membantu
9. Semua rekan kos yang selalu menemani saat susah maupun senang.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun orang lain. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, 3 juli 2015
Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	4
 BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN ANALISA ALIRAN DAYA	
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.2.1 Jaringan Distribusi Radial	6
2.2.1.1 Jaringan radial tipe pohon	7
2.2.1.2 Jaringan radial dengan <i>tie-switch</i> pemisah	8
2.2.1.3 Jaringan dengan pembagian fasa area	9
2.2.1.4 Jaringan radial tipe pusat beban	10
2.2 Analisa Aliran Daya	10
2.2.1 Metode <i>Newton-Raphson</i>	11
2.2.1.1 Fungsi Non-Linier	11
2.2.2 Penyelesaian aliran daya metode <i>Newton-Raphson</i>	15
2.3 Kapasitor Bank	17

BAB 3 ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI METODE *NEWTON-RAPHSON*, REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK

3.1	Studi Aliran Daya Metode <i>Newton-Raphson</i> Pada Sistem Distribusi Radial.....	20
3.2	Rekonfigurasi Jaringan distribusi	29
3.3	<i>Loss sensitifity factor (LSF)</i> untuk penempatan kapasitor bank ...	31
3.4	Sistem distribusi IEEE 16 bus	31

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

4.1	Analisa aliran daya sistem IEEE 14 bus (Kasus1)	33
4.2	Perbandingan analisis aliran daya metode <i>Newton-Raphson</i> dengan ETAP 12.6.....	34
4.3	Rekonfigurasi jaringan pada sistem IEEE 16 bus(Kasus2)	37
4.4	Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 3)	43
4.5	Rekonfigurasi dan Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus(Kasus 4)	44

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil iterasi contoh 2.2.....	15
Tabel 3.1	Data saluran dan beban contoh 3.1	24
Tabel 3.2	Hasil analisa aliran daya metode <i>Newton-Raphson</i> contoh 3.1.....	27
Tabel 3.3	Jumlah kombinasi konfigurasi baru yang mungkin terjadi pada jaringan sederhana pada gambar 3.3	30
Tabel 3.4	Data saluran IEEE 16 bus modifikasi.....	33
Tabel 3.5	Data beban IEEE 16 bus modifikasi.....	34
Tabel 4.1	Studi kasus pada simulasi aliran daya	35
Tabel 4.2	Hasil perhitungan tegangan metode <i>Newton-Raphson</i> pada sistem IEEE 16 bus modifikasi.....	36
Tabel 4.3	Kombinasi rekonfigurasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi.....	37
Tabel 4.4	Hasil analisa tegangan pada konfigurasi baru	40
Tabel 4.5	Hasil perhitungan indeks <i>Loss Sensitivity Factor</i> konfigurasi awal	42
Tabel 4.6	Hasil analisis tegangan akibat penempatan kapasitor bank.....	43
Tabel 4.7	Hasil perhitungan indeks <i>Loss Sensitivity Factor</i> pada konfigurasi baru.....	44
Tabel 4.8	Hasil analisis tegangan akibat rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank	45
Tabel 4.9	Hasil Validasi perhitungan metode <i>Newton-Raphson</i> pada IEEE 16 bus modifikasi.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Flow Chart Penyelesaian Tugas Akhir	3
Gambar 2.2	Sistem Tenaga Listrik Secara Umum	8
Gambar 2.3	Jaringan Distribusi Radial	7
Gambar 2.4	Jaringan Radial Tipe Pohon.....	8
Gambar 2.5	Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Tie-Switch</i> .	9
Gambar 2.6	Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Phase Area</i>	9
Gambar 2.7	Ilustrasi Metode <i>Newton-Raphson</i>	11
Gambar 2.8	Rangkaian Konduktor Sebelum Pemasangan Kapasitor	18
Gambar 2.9	Rangkaian Konduktor Setelah Pemasangan Kapasitor.	18
Gambar 2.10	Aliran Daya Tanpa Kompensasi	18
Gambar 2.11	Aliran Daya Dengan Kompensasi	18
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penyelesaian Analisa Aliran Daya	19
Gambar 3.2	Single Line Diagram Contoh 3.1	23
Gambar 3.3	Ilustrasi Rekonfigurasi Pada Jaringan Distribusi.....	29
Gambar 3.4	Tie dan Sectionalizing switch pada jaringan distribusi.	28
Gambar 3.5	Saluran distribusi dengan impedansi dan beban	28
Gambar 3.6	Flow chart penentuan lokasi kapasitor bank.....	32
Gambar 3.7	Single line diagram sistem IEEE 16 bus modifikasi.....	28
Gambar 4.1	Grafik tegangan setiap bus pada kondisi awal.....	36
Gambar 4.2	Rata-rata tegangan sistem dengan setiap kombinasi switch.....	38
Gambar 4.3	Konfigurasi baru IEEE 16 bus modifikasi setelah rekonfigurasi.....	41
Gambar 4.4	Grafik perbandingan tegangan konfigurasi awal dan konfigurasi baru.....	41
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Tegangan Konfigurasi awal dan tegangan akibat pemasangan kapasitor bank	44
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Tegangan Konfigurasi awal dan tegangan akibat rekonfigurasi jaringan dan pemasangan kapasitor bank.....	44
Gambar 4.7	Grafik perbandingan Tegangan rata-rata untuk semua studi kasus	48
Gambar 4.8	Grafik perbandingan Tegangan Hasil metode <i>Newton-Raphson</i> pada IEEE 16 bus modifikasi dengan konfigurasi baru dan Kapasitor Bank	48



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ainul Yaqin. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Moh. Arifin dan Rohmtul Ummah. Penulis lahir pada tanggal 24 Maret 1991 di Kota Kediri. Mengawali pendidikannya di MIN Tanjung Tani Kabupaten Nganjuk, pada tahun 1997-2003. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di MTsN Tanjung Tani Kabupaten Nganjuk pada tahun 2003- 2006. Setelah itu, penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di MAN 3 Kota Kediri pada tahun 2006–2009. Setelah lulus menyelesaikan pendidikannya di tingkat SMA pada tahun 2009, penulis meneruskan pendidikannya ke jenjang perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa perkuliahan penulis belum pernah mengikuti organisasi namun pada akhir tahun perkuliahan penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro FTI ITS pada tahun 2013-2014.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisa aliran daya merupakan bagian yang penting dalam melakukan desain dan operasi pada sistem distribusi tenaga listrik. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk analisa aliran daya adalah metode *Newton-Raphson*. Metode tersebut umumnya digunakan untuk analisa sistem transmisi. Topologi sistem distribusi yang berbeda dengan sistem transmisi menyebabkan analisa aliran daya klasik tidak selalu konvergen bila di terapkan di sistem distribusi[1]. Sistem distribusi dioperasikan dengan tegangan rendah dan langsung tersambung dengan beban, oleh karena itu profil tegangan harus dijaga pada standart yang diperbolehkan. Pada tugas akhir ini diusulkan analisa aliran daya sistem distribusi radial tiga fasa seimbang dengan metode *Newton-Raphson* untuk aplikasi perbaikan profil tegangan pada bus dengan cara melakukan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank. Dengan upaya rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank, diharapkan profil tegangan akan menjadi lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Hal yang menjadi permasalahan dan akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Memodifikasi metode standart *Newton-Raphson* agar dapat di implementasikan pada sistem distribusi radial tiga fasa seimbang.
2. Meningkatkan profil tegangan bus pada jaringan distribusi radial.
3. Memperbaiki profil tegangan pada bus menggunakan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank.

Untuk memperjelas bahasan perlu adanya pembatasan masalah. Adapun batasan tersebut adalah :

Metode analisa aliran daya yang digunakan adalah *Newton-Raphson* dengan saluran dan beban seimbang. Nilai kapasitor bank yang digunakan dibatasi sesuai dengan nilai yang terdapat dilapangan[2].

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah memperelajari cara pembuatan simulasi aliran daya sistem distribusi

radial menggunakan metode *Newton-Raphson*. Tegangan setiap bus hasil simulasi dijadikan acuan melakukan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank untuk meningkatkan profil tegangan meningkat.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Data

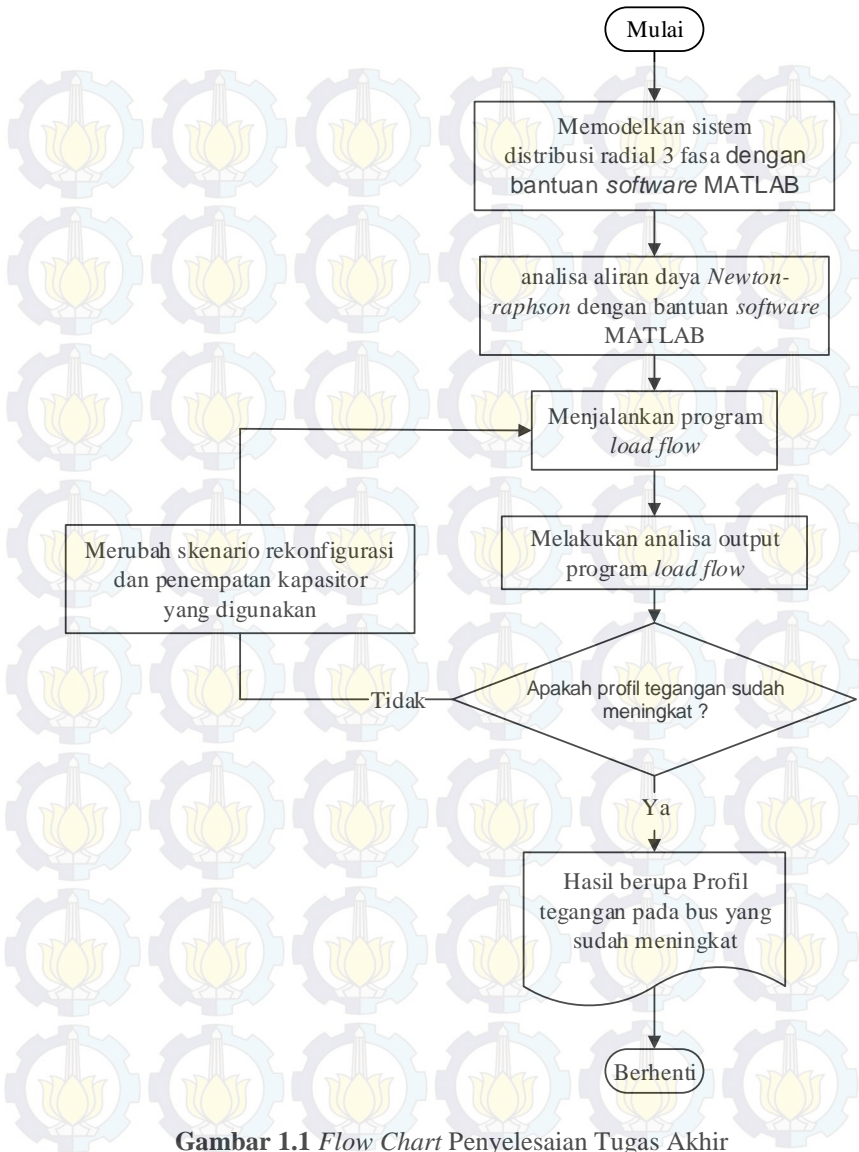
Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan mengumpulkan data berupa *single line diagram*, data beban serta data setiap saluran. Semua data yang didapatkan dituliskan pada script software Matlab.

2. Simulasi dan Analisis Data

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan persamaan aliran arus setiap bus menggunakan formulasi *Newton-Raphson* untuk sistem distribusi. Perhitungan aliran daya dimulai dengan membentuk matrik F dan matrik Y_{bus} sesuai dengan persamaan (3.7) dan (3.15). Langkah selanjutnya adalah membuat *jacobian* matrik dibuat berdasarkan persamaan (3.10) sampai (3.13). Untuk menghitung tegangan bus pertama dihitung matrik $\Delta\delta$ dan ΔV yang merepresentasikan selisih tegangan dan sudut hasil perhitungan dengan tegangan sebenarnya. Hasil perhitungan tersebut ditambah dengan nilai awal (*initial value*), sehingga didapatkan tegangan bus dan sudut tegangan setiap bus yang baru. Proses perhitungan di ulang untuk mendapatkan nilai akurat sesuai dengan batasan iterasi dan toleransi yang ditentukan. Dengan mengacu pada hasil analisa aliran daya tersebut tegangan bus diperbaiki dengan cara melakukan rekonfigurasi jaringan serta menempatkan kapasitor bank. Semua perhitungan dilakukan dengan bantuan software Matlab 2013. Hasil perhitungan yang didapatkan akan dibandingkan dengan simulasi menggunakan software ETAP 12.6 untuk validasi dan pembandingan.

3. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisa data, penarikan kesimpulan dilakukan untuk menjawab permasalahan yang ada.



Gambar 1.1 Flow Chart Penyelesaian Tugas Akhir

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Berisi pembahasan mengenai sistem distribusi tenaga listrik, teori tentang standart *Newton-Raphson* dan teori mengenai rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank.

Bab 3 : Analisis Aliran Daya Pada Sistem Distribusi, Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan kapasitor bank

Bab ini membahas mengenai karakteristik sistem distribusi, analisis aliran daya menggunakan *Newton-raphson* serta sistem IEEE 16 bus modifikasi yang dijadikan objek penelitian.

Bab 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis aliran daya pada sistem distribusi IEEE 16 bus modifikasi dan perbandingannya dengan hasil *software* ETAP. Pada bab ini juga dijelaskan analisa rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank dan efeknya terhadap perbaikan profil tegangan.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

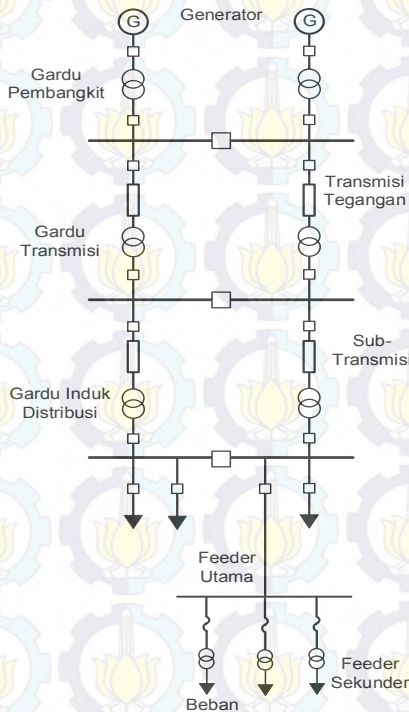
Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi pihak yang berkepentingan seperti operator jaringan distribusi untuk desain dan operasi jaringan. Selain itu tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian tentang perbaikan parameter tegangan sistem distribusi.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik[3]

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan pembangkit dengan tegangan 11-24 kV akan dinaikkan menjadi 70-500 kV untuk transmisi. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi rugi daya pada transmisi. Dari saluran transmisi tegangan akan diturunkan kembali menjadi 20 kV di gardu distribusi kemudian akan di salurkan ke beban menengah atau ke trafo distribusi untuk saluran sekunder.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik Secara Umum

Sistem distribusi digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke pusat-pusat beban. Sistem ini menggunakan saluran udara, kabel udara maupun kabel tanah sesuai dengan kondisi, lingkungan dan keandalan yang diinginkan. Secara umum komponen sistem distribusi adalah sebagai berikut :

a. Gardu Induk

Gardu induk merupakan unit sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Pada gardu induk ini tegangan berasal dari sistem transmisi tegangan tinggi yaitu 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV.

b. Jaringan Subtransmisi

Jaringan Subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari gardu induk menuju gardu-gardu distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan yaitu antara 170-150kV.

c. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan komponen dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari Gardu Induk atau dari jaringan subtransmisi yang kemudian disalurkan pada penyulang primer atau langsung kepada konsumen-konsumen besar yang membutuhkan tegangan menengah 20 kV.

d. Jaringan distribusi Primer

Saluran penyulang utama merupakan rangkaian yang berfungsi menghubungkan gardu distribusi dengan transformator distribusi.

e. Transformator Distribusi.

Transformator Distribusi adalah transformator yang berfungsi untuk mengubah tegangan menengah 20KV menjadi tegangan rendah 220/380V. Kemudian tegangan tersebut disalurkan kepada beban-beban yang beroperasi pada tegangan rendah seperti perumahan atau perkantoran.

f. Jaringan distribusi Sekunder.

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang jaringan distribusi dengan rating tegangan 220/380V.

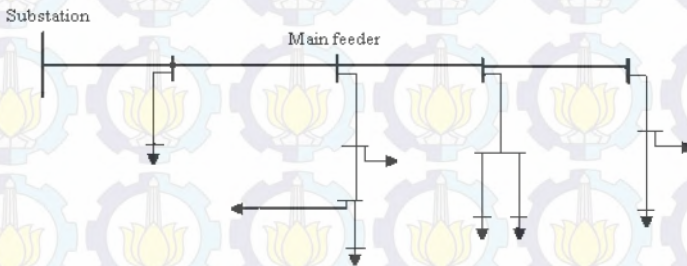
2.2.1 Jaringan Distribusi Radial

Distribusi radial adalah jaringan yang mempunyai karakteristik terdiri dari satu saluran antara titik sumber dengan titik bebannya. Distribusi radial merupakan bentuk sistem distribusi yang paling banyak digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. bentuknya sederhana
- b. membutuhkan biaya investasi yang murah.

Disisi lain jenis distribusi ini punya beberapa kekurangan yaitu:

- c. kualitas daya yang lebih rendah karena mempunyai drop tegangan yang relatif besar
- d. dan tingkat keandalan jaringan yang rendah karena beban hanya di supply hanya dengan satu sumber.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, *sectionalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya yang fungsinya melokalisir gangguan.

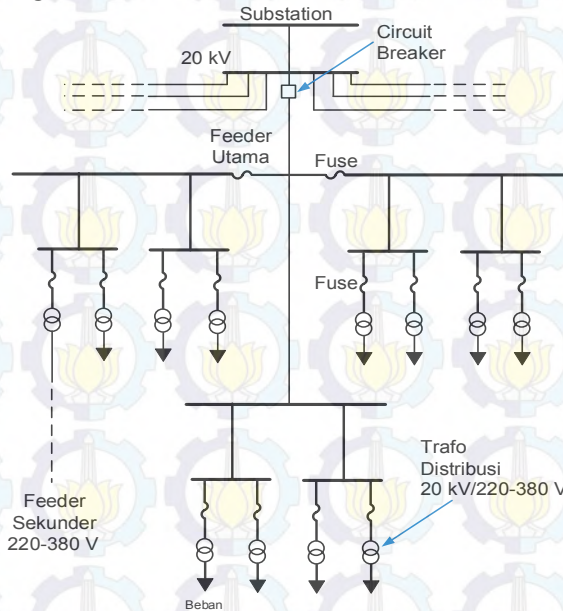
Sitem distribusi radial dapat dibedakan lagi menjadi beberapa tipe jaringan. Berikut ini beberapa modifikasi jaringan distribusi radial: sistem radial pohon, sistem radial dengan *tie-switch* pemisah, sistem radial dengan pembagian fasa area serta sistem radial dengan pusat beban.

2.2.1.1 Jaringan Radial Tipe Pohon

Sistem radial jenis ini dinamakan radial pohon karena dari bentuknya menyerupai cabang pohon. Jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana dari distribusi radial. Saluran utama ditarik

percabangan ke saluran lateral, dari saluran lateral tadi ditarik lagi saluran sublateral yang kemudian tersambung ke beban.

Sesuai dengan beban yang ditanggung saluran, ukuran saluran utama memiliki ukuran terbesar, ukuran saluran lateral akan lebih kecil dari saluran utama sampai saluran sublateral yang mempunyai ukuran saluran paling kecil.

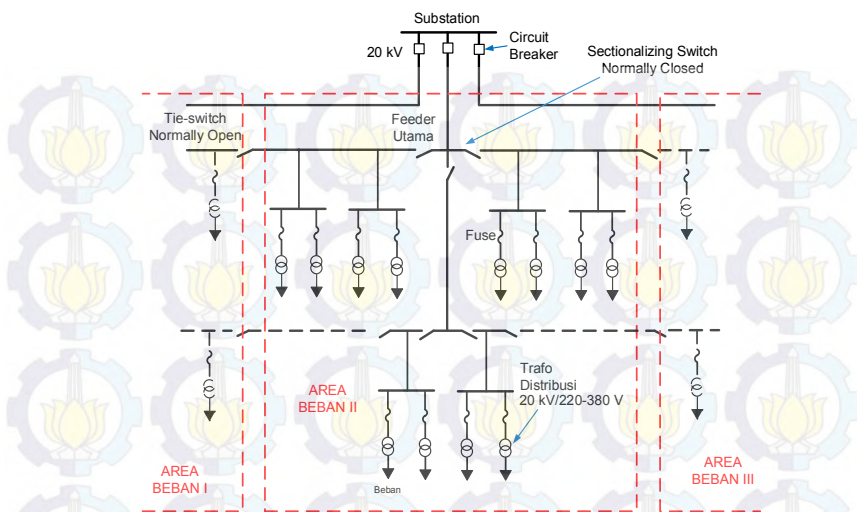


Gambar 2.3 Jaringan Radial Tipe Pohon

2.2.1.2 Jaringan Radial dengan Tie Switch Pemisah

Penggunaan *tie-switch* bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem. Apabila terdapat gangguan pada suatu penyulang maka akan dilakukan manuver dengan menggunakan *tie-switch* untuk memindahkan suplai beban ke penyulang yang lain. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon. Sistem radial dengan *tie switch* pemisah dapat dilihat pada gambar 2.3

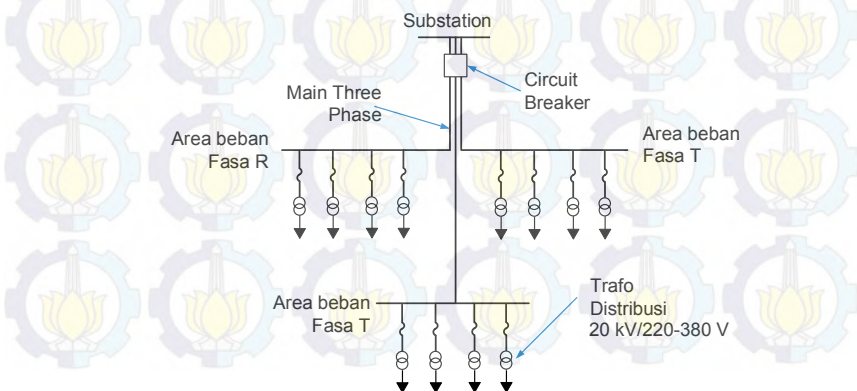
Dengan adanya *tie-switch* dan *sectionalizing switch* pada tiap saluran maka konfigurasi sistem ini juga dapat diubah dengan cara mengubah kombinasi buka dan tutup *switch*.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Radial Dengan *Tie-Switch*

2.2.1.3 Jaringan Radial dengan Pembagian Fasa Area

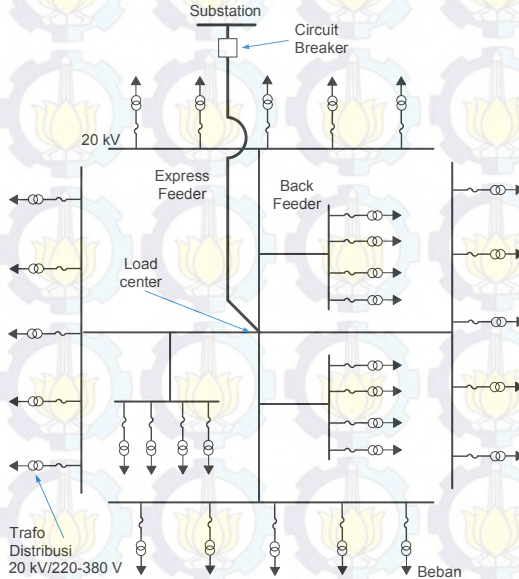
Seperti namanya, jaringan ini mempunyai karakteristik satu fasa hanya melayani satu area tertentu. jaringan jenis ini hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan seimbang pada setiap fasanya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Radial Dengan *Phase Area*

2.2.1.4 Jaringan radial tipe pusat beban

Bentuk jaringan ini mensupply daya dengan menggunakan penyulang utama yang disebut *express feeder* yang langsung tersambung dengan pusat beban. Dari pusat beban tersebut listrik disebarakan menggunakan *back feeder* secara radial



Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Dengan Pusat Beban

2.2 Simulasi Dan Analisis Aliran Daya[4]

Analisis aliran daya sangat penting baik untuk perencanaan sistem yang baru maupun untuk pengembangan sistem di masa mendatang. Dengan menggunakan simulasi dan analisis aliran daya dapat diperoleh informasi mengenai akibat perubahan beban, perubahan pembebanan pembangkit, serta perubahan konfigurasi sistem.

Dengan melakukan perhitungan aliran daya pada sistem tenaga listrik dengan menggunakan program komputer, digunakan rangkaian pengganti komponen-komponen sistem tenaga dan semua besaran di berikan dalam P.U.(per-unit). Metode perhitungan aliran daya yang secara umum adalah metode *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson*, dan *Fast-Decoupled*.

Perhitungan aliran daya dilakukan untuk perencanaan, operasi dan pengendalian operasi sistem tenaga listrik dimana kondisi operasi statis sistem tenaga di ditentukan oleh batasan daya atau tegangan pada bus-bus yang terdapat pada sistem.

Secara umum klasifikasi bus dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Load (P-Q) bus atau bus beban, yaitu bus dimana daya nyata S_i ditentukan
2. Generator (P-V) bus, yaitu bus dimana daya aktif dan tegangan yang tetap.
3. Slack (Swing bus) adalah bus yang harga tegangan dan sudutnya tetap.

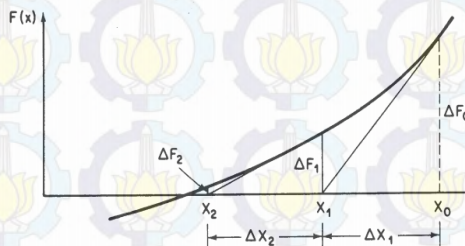
2.2.1 Metode *Newton-Raphson*

Metode *Newton-Raphson* banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linier. Dengan metode ini persamaan non-linier diubah ke dalam bentuk linier dan digunakan untuk menentukan solusi dari persamaan non-linier tersebut. Metode ini diterapkan untuk menentukan satu besaran yang tidak diketahui dalam satu persamaan, atau sistem dengan sejumlah persamaan dengan besaran yang tidak diketahui jumlah persamaan maupun besarannya.

2.2.1.1 Fungsi non-linier

Misalkan $F(x) = 0$ sebagai persamaan non-linier, dimana setiap nilai x yang memenuhi nilai Misalkan $F(x) = 0$ adalah akar dari Misalkan $F(x)$. Untuk mendapatkan akar dari persamaan tersebut diperlukan perkiraan awal untuk x pada sekitar nilai tersebut dengan perkiraan awal yaitu x_0 ,

$$F(x) = \Delta F_0 \quad (2.1)$$



Gambar 2.7 Ilustrasi Metode *Newton-Raphson*

Dimana ΔF_0 adalah kesalahan (error) bila x_0 bukan merupakan akar dari $F(x)$. hal ini ditunjukkan pada gambar 2.5, garis singgung ditarik pada titik dikurva yang sesuai dengan x_0 , dan diproyeksikan sampai memotong sumbu x untuk menentukan perkiraan kedua dari akar dan seterusnya sampai ΔF_0 lebih kecil dari nilai toleransi. dimana bila $y(x) = 0$ diberikan rumus perkiraan nilai akar pada setiap iterasi,

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{F'(x_n)} \quad \text{atau} \quad x_{n+1} = x_n - \Delta x_n \quad (2.2)$$

Berikut adalah contoh 2.1 aplikasi perhitungan *Newton-Raphson* :

$$F(x) = x^3 - 64$$

$$F'(x) = 3x^2$$

selanjutnya digunakan perkiraan awal
 $x_0 = 5$

proses iterasi berjalan sesuai persamaan (2.2) sehingga menghasilkan :

$$\Delta x_n = \frac{F(x_n)}{F'(x_n)}$$

$$\Delta x_n = \frac{x^3 - 64}{3x^2}$$

pada iterasi pertama diperoleh

$$\Delta x_1 = \frac{125 - 64}{75} = 0,8133$$

maka

$$x_1 = 5 - 0,8133 = 4,1867$$

untuk iterasi kedua,

$$\Delta x_2 = \frac{(4,1867)^2 - 64}{3(4,1867)^2} = 0,1785 \quad \text{dan}$$

$$x_2 = 4,1867 - 0,1785 = 4,0082$$

Proses ini dilakukan sampai akurasi yang diinginkan tercapai. untuk mencari solusi masalah yang terdiri dari lebih dari satu persamaan metode newton raphson juga dapat digunakan. misalkan diketahui dua persamaan non-linier F_1, F_2 maka

$$F_1(x_1, x_2)=0, F_2(x_1, x_2)=0 \quad (2.3)$$

matriks jacobian untuk 2x2 persamaan adalah

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Hubungan linier untuk perubahan kecil $(\Delta x_1, \Delta x_2)$ diberikan pada persamaan (2.5)

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(k+1)} \\ \Delta x_2^{(k+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta F_1^{(k)} \\ \Delta F_2^{(k)} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Persamaan ini kemudian diselesaikan secara langsung untuk koreksi pertama. koreksi tersebut kemudian di tambahkan ke variabel pada iterasi awal (nol) untuk memperoleh nilai variabel pada iterasi pertama

$$\begin{pmatrix} x_1^{(k+1)} \\ x_2^{(k+1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1^{(k)} \\ x_2^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(k+1)} \\ \Delta x_2^{(k+1)} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

berikut ini contoh 2.2 aplikasi metode *Newton-Raphson* untuk perhitungan persamaan 2x2 menggunakan metode *Newton-Raphson* :

$$F_1 = x_1^2 + x_2^2 - 5x_1 = 0$$

$$F_2 = x_1^2 + x_2^2 - 1,5x_1 = 0$$

Penyelesaian.

turunan parsial dari persamaan diatas adalah

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = 2x_1 - 5$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_2} = 2x_1$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = 2x_1$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = -2x_1 - 1,5$$

dengan menggunakan perkiraan awal,

$$x_1^{(0)} = 3 \quad \text{dan} \quad x_2^{(0)} = 3$$

hasilnya adalah

$$F_1^0 = (3)^2 + (3)^2 - 5(3) = 3$$

$$F_2^0 = (3)^2 - (3)^2 - 1,5(3) = 4,5$$

elemen matriks jacobian adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial F_1^0}{\partial x_1} = 2(3) - 5 = 1$$

$$\frac{\partial F_1^0}{\partial x_2} = 2(3) = 1$$

$$\frac{\partial F_2^0}{\partial x_1} = 2(3) = 6$$

$$\frac{\partial F_2^0}{\partial x_2} = (-2)(3) + 1,5 = -4,5$$

maka,

$$\begin{pmatrix} 1 & 6 \\ 6 & -4,5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 \\ -4,5 \end{pmatrix}$$

penyelesaiannya adalah

$$\Delta x_1^{(0)} = -1$$

$$\Delta x_2^{(0)} = -0,333$$

dengan demikian hasil pada iterasi pertama adalah

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(1)} = 3 - 1 = 2$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(1)} = 3 - 0,333 = 2,667$$

prosedur di atas diulangi

$$F_1^{(1)} = (2)^2 + (2,667)^2 - 5(3) = 1,1129$$

$$F_2^{(1)} = (2)^2 - (2,667)^2 - 1,5(2,667) = 0,8876$$

elemen matriks jacobian adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial F_1^{(1)}}{\partial x_1} = 2(2) - 5 = -1 \quad \frac{\partial F_1^{(1)}}{\partial x_2} = 2(2,667) = 6$$

$$\frac{\partial F_2^{(1)}}{\partial x_1} = 2(2) = 4 \quad \frac{\partial F_2^{(1)}}{\partial x_2} = -2(2,667) = -6$$

kemudian,

$$\begin{pmatrix} -1 & 5,334 \\ 4 & -3,834 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(1)} \\ \Delta x_2^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1,1129 \\ -0,8876 \end{pmatrix}$$

dengan mengulangi prosedur diatas berikut ini adalah hasil pada setiap iterasi sampai dengan iterasi ke 8 :

Tabel 2.1 Hasil iterasi contoh 2.2

iterasi	x_1	x_2
3	1,223900	2,17380
4	1,093500	2,07330
5	1,031600	2,02480
6	1,000650	2,00510
7	1,004000	2,00030
8	1,00000189	2,00000149

2.2.2 Penyelesaian Aliran Daya dengan Metode *Newton-Raphson*

Untuk menyelesaikan aliran daya menggunakan persamaan aliran daya untuk mendapatkan tegangan setiap bus. Persamaan aliran daya yang dimaksud adalah :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.7)$$

Dengan memisahkan bagian real dan imajiner persamaan diatas didapatkan:

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.7)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Persamaan diatas merupakan fungsi $|V|$ dan δ pada tiap-tiap bus. Persamaan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung $|V|$ dan δ tiap bus. Cara umum metode analisa aliran daya *Newton-Raphson* ditulis sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} H & N \\ J & L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Dimana elemen matrik H :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Elemen matrik N:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V|_j} = |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

elemen matrik J :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Elemen matrik L:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_i} = -2|V_i||Y_{ii}|\sin\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_j} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Nilai mismatch dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta P_i^{(k)} = P^{sch} - \Delta P_i^{(k)}$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q^{sch} - \Delta Q_i^{(k)}$$

akar akar persamaan diperoleh dari operasi perkalian secara matriks. dengan akar akarnya adalah:

$$\begin{aligned} \delta_i^{(k+1)} &= \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \\ |V|_i^{(k+1)} &= |V|_i^{(k)} + \Delta |V|_i^{(k)} \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.3 Kapasitor Bank[5]

Kapasitor merupakan komponen kompensator yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya (*Ploss*) dan drop tegangan (*Vdrop*) pada jaringan. Fungsi lain dari kapasitor bank adalah untuk mengkompensasi daya reaktif yang sekaligus menjaga kualitas tegangan dan juga untuk meningkatkan efisiensi pada sistem dan umumnya pemakaian bank kapasitor memberikan keuntungan antara lain:

Kapasitor paralel dan reaktor paralel berguna untuk :

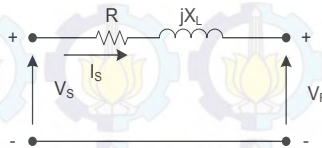
- Mengkompensasi kebutuhan daya reaktif
- Menaikkan atau menurunkan tegangan
- Mengurangi rugi-rugi distribusi
- Memperbaiki faktor daya
- Memaksimalkan kapasitas sistem

Kapasitor dipasang pada jaringan dengan tujuan untuk perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan drop tegangan pada jaringan.

2.3.1 Pengaruh Pemasangan Kapasitor Terhadap Tegangan

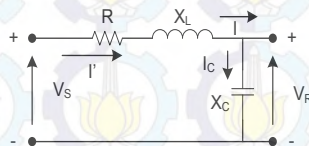
Pada umumnya jaringan distribusi akan menyerap daya reaktif karena karakteristik beban-beban yang ada. Kondisi sistem distribusi tanpa kapasitor dapat dilihat pada gambar 2.8. Gambar tersebut

memperlihatkan kondisi suatu konduktor sebelum pemasangan kapasitor.

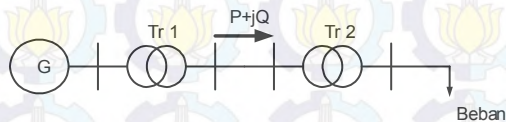


Gambar 2.8 Rangkaian Konduktor Sebelum Pemasangan Kapasitor

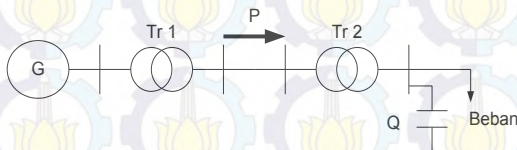
Sedangkan pada Gambar 2.9 dibawah diperlihatkan suatu sistem yang diberi kompensasi daya reaktif berupa kapasitor. Pemasangan kapasitor membuat kenaikan pada tegangan disisi terima (V_R) jika tegangan pengirim (V_s) dipertahankan konstan.



Gambar 2.9 Rangkaian Konduktor Setelah Pemasangan Kapasitor



Gambar 2.10 Aliran Daya Tanpa Kompensasi

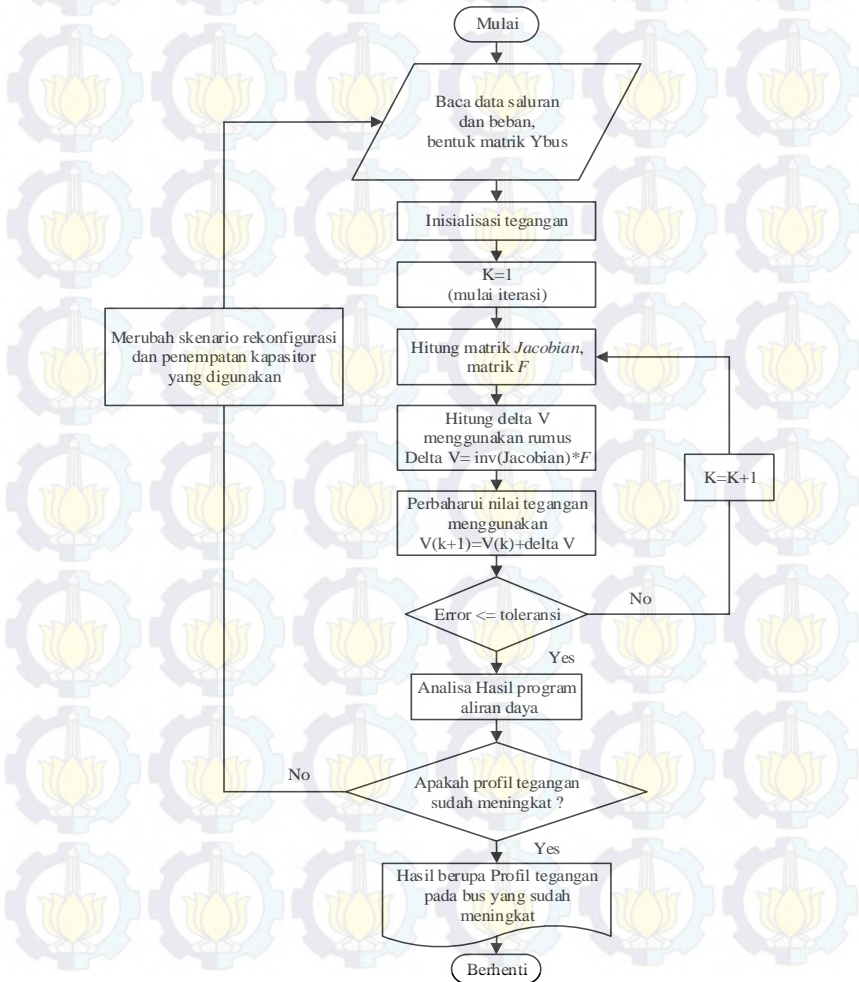


Gambar 2.11 Aliran Daya Dengan Kompensasi

Daya reaktif bisa dibangkitkan oleh kapasitor dan penggunaan kapasitor bank sebagai suplai daya reaktif pada sistem tenaga listrik adalah solusi terbaik untuk memproduksi daya reaktif, karena biaya awal dan pemeliharannya tidak mahal.

BAB III

ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI METODE *NEWTON-RAPHSON*, REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK



Gambar 3.1 *Flow Chart* Penyelesaian Analisa Aliran Daya

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dari analisa aliran daya, rekonfigurasi jaringan dan lokasi pemasangan kapasitor bank. Tahapan pengerjaan tugas akhir ini dijelaskan melalui *flowchart* diatas.

3.1 Studi Aliran Daya Metode *Newton-Raphson* Pada Sistem Distribusi Radial

Metode *Newton-Raphson* adalah metode yang handal digunakan untuk menghitung analisa aliran daya, selain itu metode tersebut juga mempunyai sejarah panjang dan digunakan secara luas untuk diterapkan pada *software* komersial. Metode *Newton-Raphson* juga sangat efisien dan sudah digunakan sebagai standart perhitungan analisa aliran daya pada banyak literatur.

Analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* digunakan untuk menentukan tegangan bus melalui persamaan *mismatch* daya, namun untuk elternatif *Newton-Raphson* pada tugas akhir ini menggunakan persamaan *mismatch* arus[6].

Bila sebuah sistem mempunyai jumlah bus sebanyak- n maka di asumsikan bus $ke-1$ merupakan slack bus dimana tegangan dan sudutnya tetap. Persamaan aliran arus setiap bus dapat di representasikan dengan persamaan berikut.

$$(I_{gen,k} - I_{dem,k}) - \sum_{i=1}^n Y_{ki}V_i = 0 \quad (3.1)$$

$I_{gen,k}$ merupakan arus generator yang mengalir di bus $ke-k$ sedangkan $I_{dem,k}$ merupakan arus akibat beban. Pada kondisi praktis beban di sistem tenaga listrik merupakan persamaan daya. Oleh karena itu dapat dituliskan persamaan baru dengan mensubstitusi persamaan (3.2) ke persamaan (3.1) sehingga persamaan aliran daya menjadi persamaan (3.3) yang dituliskan sebagai berikut.

$$I_k = \frac{S_k^*}{V_k} \quad (3.2)$$

$$I_k = \left(\frac{S_{sch,k} - S_{dem,k}}{V_k} \right)^* - \sum_{i=1}^n Y_{ki}V_i \quad (3.3)$$

Dalam persamaan tersebut tegangan, daya di bus $ke-k$, serta admitansi dari bus- k ke bus- i di definisikan dengan.

$$|V_k| \angle \delta_k$$

$$Y_{ki} \angle \theta_{ki} \\ S_{gen,k} - S_{dem,k} = S_{sch,k} = S_k \angle \varphi_k \quad (3.4)$$

Persamaan (3.4) di jika disubstitusikan ke persamaan (3.3) akan menjadi.

$$I_k = \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \angle (-\varphi_k + \delta_k) - \sum_{i=1}^n |Y_{ki} V_i| \angle (-\varphi_{ki} + \delta_i) \quad (3.5)$$

Pada persamaan (3.5) merupakan persamaan arus masih berupa bentuk kompleks.

$$I_k = G_k + jH_k \quad (3.6)$$

Persamaan (3.5) dapat diuraikan menjadi persamaan arus real dan imajinernya sehingga menjadi.

$$G_k = \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \cos \angle (-\varphi_k + \delta_k) - \sum_{i=1}^n |Y_{ki} V_i| \cos \angle (-\theta_{ki} + \delta_i) \\ H_k = \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \sin \angle (-\varphi_k + \delta_k) - \sum_{i=1}^n |Y_{ki} V_i| \sin \angle (-\theta_{ki} + \delta_i) \quad (3.7)$$

Keterangan :

G_k = arus aktif yang mengalir pada bus ke- k

H_k = arus reaktif yang mengalir pada bus ke- k

V_k = tegangan pada bus ke- k

I_k = arus pada bus ke- k

V_i = tegangan pada bus- i

Y_{ki} = admitansi saluran dari bus- k ke bus- i

δ_k = sudut fasa tegangan kompleks pada bus- k

φ_k = sudut fasa daya kompleks pada bus- k

θ_{ki} = sudut fasa admitansi saluran dari bus- k ke bus- i

Persamaan (3.5) merupakan persamaan *mismatch* arus pada bus- k . nilai *mismatch* akan bernilai nol bila semua tegangan pada bus telah ditemukan. Untuk mencari tegangan setiap bus maka kedua persamaan diatas harus di formulasikan menjadi deret taylor sehingga menjadi :

$$G_k = \sum_{i=1}^n \frac{\partial G_k}{\partial \delta_i} \Delta \delta_i + \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial G_k}{\partial V_k} \right| \Delta V_i \quad (3.8)$$

dari persamaan deret taylor ini, formula untuk menentukan sudut dan magnitude tegangan dapat di ekspresikan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} G \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial \delta} & \frac{\partial G}{\partial |V|} \\ \frac{\partial H}{\partial \delta} & \frac{\partial H}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Elemen matriks jacobian persamaan (3.8) dapat diturunkan seperti metode *Newton-Raphson* biasa, penurunan elemen matriks tersebut dijelaskan pada persamaan (3.10) sampai (3.13)

Submatriks J1 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_k}{\partial \delta_i} &= -|V_i Y_{ki}| \sin(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i \\ \frac{\partial G_k}{\partial \delta_k} &= -|V_i Y_{kk}| \sin(\theta_{kk} + \delta_k) + \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \sin(-\varphi_k + \delta_k) \end{aligned} \quad (3.10)$$

Submatriks J2 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_k}{\partial |V_k|} &= -|V_i Y_{ki}| \sin(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i \\ \frac{\partial G_k}{\partial |V_k|} &= -|V_k Y_{kk}| \sin(\theta_{kk} + \delta_k) + \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \sin(-\varphi_k + \delta_k) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Submatriks J3 :

$$\frac{\partial H_k}{\partial \delta_i} = |V_i Y_{ki}| \cos(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i$$

$$\frac{\partial H_k}{\partial \delta_k} = |V_i Y_{kk}| \cos(\theta_{kk} + \delta_k) - \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \cos(-\phi_k + \delta_k) \quad (3.12)$$

Submatriks J4 :

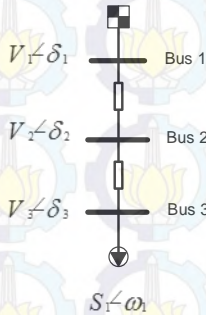
$$\begin{aligned} \frac{\partial G_k}{\partial |V_k|} &= |V_i Y_{ki}| \cos(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i \\ \frac{\partial H_k}{\partial |V_k|} &= |V_k Y_{kk}| \cos(\theta_{kk} + \delta_k) + \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \cos(-\phi_k + \delta_k) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Persamaan aliran daya tersebut diselesaikan dengan menggunakan suatu proses pengulangan (iterasi) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan pada bus yang tidak diketahui nilainya dan kemudian menghitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari nilai perkiraan pada bus yang lain.

Setiap perhitungan suatu himpunan nilai tegangan yang baru disebut sebagai satu iterasi. Proses iterasi ini diulang terus-menerus hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari nilai minimum atau tidak melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan.

Salah satu contoh sederhana penyelesaian persamaan aliran daya dengan metode *Newton-Raphson* adalah sebagai berikut.

Contoh 3.1 :



Gambar 3.2 Single Line Diagram Contoh 3.1

Tabel 3.1 Data saluran dan beban contoh 3.1

bus	bus	R(ohm)	X(ohm)	P(MW)	Q(Mvar)
1	2	0,39675	0,5920	2	1,6
2	3	0,42320	0,5819	3	1,5
KVbase				20 kV	
MVAbase				100 MVA	

Sebelum menghitung, semua data harus dikonversi menjadi satuan per-unit (p.u.) dengan rumus sebagai berikut.

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{Actual}(ohm)}{Z_{Base}(ohm)} \quad \text{dan} \quad S_{p.u} = \frac{S_{Actual}(VA)}{S_{Base}(VA)} \quad (3.14)$$

$$KV_{p.u} = \frac{KV_{Actual}(KV)}{KV_{Base}(KV)}$$

Pada perhitungan juga ditetapkan nilai awal tegangan dan sudutnya sebesar 1∠0 p.u.

Gambar 3.3 merepresentasikan sebuah sistem distribusi sederhana yang berbentuk radial dan disuplai dari satu sumber. Untuk mempermudah perhitungan maka dihitung terlebih dahulu matriks Y_{bus} berdasarkan gambar 3.3 dan tabel 3.1 sehingga menghasilkan matrik Y_{bus} sebagai berikut.

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

Persamaan matrik Y_{bus} terdiri dari dua komponen, yaitu elemen matriks *on-diagonal* dan elemen matriks *off-diagonal*. Elemen *on-diagonal* matriks Y_{bus} adalah penjumlahan admitansi yang tersambung pada bus tersebut, pada contoh ini nilai elemen *on-diagonal* adalah sebagai berikut.

$$Y_{11} = y_{12}$$

$$Y_{22} = y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{33} = y_{13}$$

Sedangkan elemen *off-diagonal* matriks adalah negatif admitansi saluran yang tersambung pada bus tersebut, nilainya sebagai berikut :

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}$$

Semua elemen matrik disusun sesuai persamaan (3.15) yang dituliskan sebelumnya. sehingga menghasilkan matrik sebagai berikut :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} 3,629 - j4,839 & -3,6294 + j4,839 & 0 \\ -3,6294 + j4,839 & 6,899 - j9,335 & -3,269 + j4,495 \\ 0 & -3,269 + j4,495 & 3,269 - j4,495 \end{bmatrix}$$

atau dalam bentuk polar

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} 6,049 \angle -0,927 & 6,049 \angle 2,214 & 0 \\ 6,049 \angle 2,214 & 11,608 \angle -0,934 & 5,559 \angle 2,199 \\ 0 & 5,559 \angle 2,199 & 5,59 \angle -0,942 \end{bmatrix}$$

Matrik Y_{bus} ini selanjutnya digunakan untuk menghitung elemen matriks *jacobian* maupun matriks F . Langkah selanjutnya adalah menghitung matriks Setelah menghitung matriks, langkah selanjutnya adalah menghitung matrik F dengan persamaan (3.7) sehingga didapatkan nilai berikut.

$$G_2 = \left| \frac{S_2}{V_2} \right| \cos \angle(-\varphi_2 + \delta_2) - (|Y_{21}V_1| \cos \angle(-\theta_{21} + \delta_1) + |Y_{22}V_2| \cos \angle(-\theta_{22} + \delta_2) \\ + |Y_{23}V_3| \cos \angle(-\theta_{23} + \delta_3)) = -0,02$$

$$G_3 = \left| \frac{S_3}{V_3} \right| \cos \angle(-\varphi_3 + \delta_3) - (|Y_{31}V_1| \cos \angle(-\theta_{31} + \delta_1) + |Y_{32}V_2| \cos \angle(-\theta_{32} + \delta_2) \\ + |Y_{33}V_3| \cos \angle(-\theta_{33} + \delta_3)) = -0,03$$

Kemudian dihitung nilai H sebagai berikut :

$$H_2 = \left| \frac{S_2}{V_2} \right| \sin \angle(-\varphi_2 + \delta_2) - (|Y_{21}V_1| \sin \angle(-\theta_{21} + \delta_1) + |Y_{22}V_2| \sin \angle(-\theta_{22} + \delta_2) \\ + |Y_{23}V_3| \sin \angle(-\theta_{23} + \delta_3)) = 0,01599$$

$$H_3 = \left| \frac{S_3}{V_3} \right| \sin \angle(-\varphi_3 + \delta_3) - (|Y_{31}V_1| \sin \angle(-\theta_{31} + \delta_1) + |Y_{32}V_2| \sin \angle(-\theta_{32} + \delta_2) + |Y_{33}V_3| \sin \angle(-\theta_{33} + \delta_3)) = 0,1499$$

Setelah semua elemen matriks F didapatkan, untuk menentukan persamaan tegangan setiap bus masih diperlukan matriks *jacobian*. Matriks *jacobian* dihitung menggunakan persamaan (3.10) sampai (3.13).

$$J1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial G_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial G_1}{\partial \delta_3} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial G_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_1|} \\ \frac{\partial G_1}{\partial |V_2|} & \frac{\partial G_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial G_1}{\partial |V_3|} & \frac{\partial G_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix},$$

$$J3 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial H_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial H_1}{\partial \delta_3} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J4 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial H_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_1|} \\ \frac{\partial H_1}{\partial |V_2|} & \frac{\partial H_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial H_1}{\partial |V_3|} & \frac{\partial H_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix}$$

Setiap elemen matriks *jacobian* yang merupakan fungsi penurunan terhadap magnitudo dan sudut tegangan *slack bus* (bus 1) dihapus, karena *slack bus* mempunyai tegangan dan sudut yang tetap yaitu sebesar $1 \angle 0$. Setelah dilakukan eliminasi baris dan kolom pada setiap elemen matriks maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$J1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial G_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial G_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix}$$

$$J1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial H_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial H_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix}$$

Setelah dihitung elemen matriks J1, J2, J3 dan J4 akan bernilai

$$J1 = \begin{bmatrix} 9,351 & -4,495 \\ -4,495 & 4,510 \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} 6,879 & -3,269 \\ -3,269 & 3,239 \end{bmatrix}$$

$$J3 = \begin{bmatrix} 6,919 & -3,269 \\ -3,269 & -3,299 \end{bmatrix}, J4 = \begin{bmatrix} -9,319 & 4,495 \\ 4,495 & -4,480 \end{bmatrix}$$

Setelah semua komponen untuk menghitung tegangan sudah di dapatkan maka langkah selanjutnya adalah membentuk operasi matrik sesuai dengan persamaan (3.7)

$$\begin{bmatrix} -0,0200 \\ -0,0300 \\ 0,0159 \\ 0,0149 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9,351 & -4,495 & 6,879 & -3,269 \\ -4,495 & 4,510 & -3,269 & 3,239 \\ 6,919 & -3,269 & -9,139 & 4,495 \\ -3,269 & 3,299 & 4,495 & -4,480 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta |V_2| \\ \Delta |V_3| \end{bmatrix}$$

Untuk menentukan tegangan sampai kondisi toleransi tertentu maka jacobian matriks dihitung menggunakan perkiraan awal. Update nilai untuk iterasi pertama sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta |V_2| \\ \Delta |V_3| \end{bmatrix}^0 = \begin{bmatrix} 9,351 & -4,495 & 6,879 & -3,269 \\ -4,495 & 4,510 & -3,269 & 3,239 \\ 6,919 & -3,269 & -9,19 & 4,495 \\ -3,269 & 3,299 & 4,495 & -4,480 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -0,0200 \\ -0,0300 \\ 0,0159 \\ 0,0149 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai .

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^0 = \begin{bmatrix} -0,0035378 \\ -0,0063219 \\ -0,0091888 \\ -0,0146409 \end{bmatrix}^0 \rightarrow \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^0 + \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^0$$

Berdasarkan perhitungan pada persamaan diatas didapatkan nilai iterasi tegangan pada iterasi pertama yaitu.

$$\begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,0035378 \\ -0,0063219 \\ -0,0091888 \\ -0,0146409 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,00353785rad \\ -0,0063219rad \\ 0,9908111p.u \\ 0,9853590p.u \end{bmatrix}$$

Untuk iterasi kedua, persamaan diselesaikan dengan semua variabel yang digunakan diperoleh dari iterasi pertama.

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} 9,289 & -4,450 & 6,845 & -3,241 \\ -4,466 & 4,465 & -3,253 & 3,210 \\ 6,823 & -3,193 & -9,343 & 4,516 \\ -3,223 & 3,224 & 4,507 & -4,500 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,0000901 \\ -0,000230 \\ 0,0001110 \\ -0,0002513 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} -0,00001706 \\ -0,00009266 \\ 0,000004586 \\ 0,000017065 \end{bmatrix}^1 \rightarrow \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^1 + \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^1$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai pada iterasi kedua yaitu.

$$\begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} -0,00353785rad \\ -0,0063219rad \\ 0,9908111p.u \\ 0,9853590p.u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,00001706 \\ -0,00009266 \\ 0,000004586 \\ 0,000017065 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0035699rad \\ -0,00641457rad \\ 0,99908157p.u \\ 0,98537613p.u \end{bmatrix}$$

dengan mengulangi prosedur diatas berikut ini adalah hasil perhitungan magnitude dan sudut tegangan pada setiap iterasi 1 sampai dengan iterasi ke-2 dengan ketelitian 10^{-3} dan mismatch 0,000251. Dengan

mengembalikan nilai p.u ke nilai sebenarnya dengan persamaan (3.14) maka didapatkan nilai pada tabel 3.2

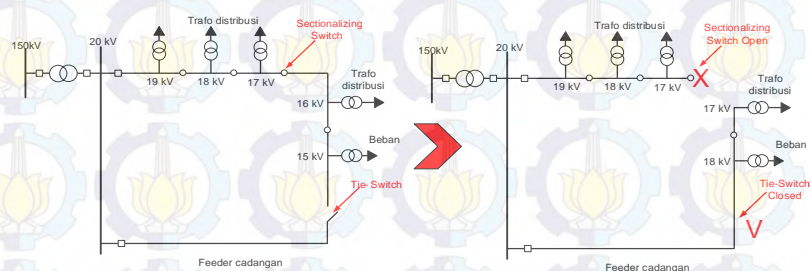
Tabel 3.2 Hasil analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* contoh 3.1

Bus ke-	Tegangan Ke- (kV)	Sudut (Derajat)
1	20	0
2	19,81631	-0,204544
3	19,70752	-0,36752

3.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Sistem distribusi secara umum merupakan distribusi radial karena biaya dan proteksi yang sederhana, namun pada distribusi primer pada umumnya terdapat tie dan sectionalizing *switch* yang dapat digunakan untuk manuver agar keandalan dan fleksibilitas operasi meningkat. Secara umum pada jaringan distribusi primer terdapat switch *normally closed* yaitu *sectionalizing-switch* dan switch yang beroperasi *normally open* yaitu *tie-switch*. Kedua tipe switch tersebut digunakan untuk menanggulangi kondisi darurat dan proteksi serta untuk perawatan jaringan.

Pada kondisi normal konfigurasi jaringan diubah dengan tujuan untuk menurunkan rugi jaringan, maupun memperbaiki tegangan[3]. Konfigurasi sistem dapat diubah dengan melakukan operasi buka-tutup switch pada jaringan distribusi primer.

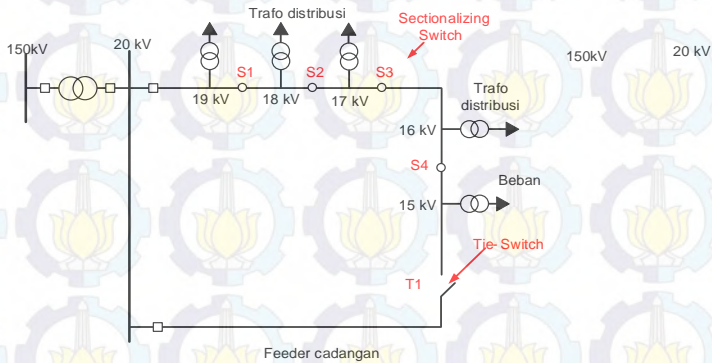


Gambar 3.3 Ilustrasi rekonfigurasi pada jaringan distribusi

Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat digunakan untuk menurunkan rugi-rugi daya dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan

konsumen dapat dilayani dengan baik. Pada tugas akhir ini rekonfigurasi dilakukan pada sistem yang telah terpasang dengan kombinasi switch yang ada agar rekonfigurasi jaringan menghasilkan drop tegangan yang nilai signifikan.

Ilustrasi kombinasi buka dan tutup switch pada jaringan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Tie dan sectionalizing switch pada jaringan distribusi

Pada gambar 3 terdapat 4 sectionalizing switch dan tie-switch yang dapat digunakan. Dengan jumlah switch tersebut maka kemungkinan yang bisa dilakukan adalah :

Tabel 3.3 jumlah kombinasi konfigurasi baru yang mungkin terjadi pada jaringan sederhana pada gambar 3.3

No kombinasi	Switch open	Switch Closed
1	S1	T1
2	S2	T1
3	S3	T1
4	S4	T1

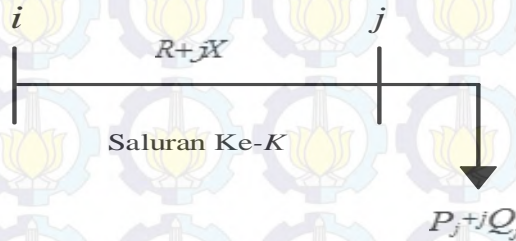
Dari kemungkinan tersebut nantinya dipilih kombinasi baru yang menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih baik. Konfigurasi baru dari kombinasi yang dipilih selanjutnya akan digunakan untuk menentukan pada bus mana kapasitor bank akan dipasang.

3.3 Loss Sensity Factor (LSF) untuk penempatan kapasitor Bank

Kapasitor secara umum digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif, mengurangi rugi daya dan mengatur profil tegangan. Langkah dalam pemasangan kapasitor bank pada sistem distribusi radial adalah menentukan nilai kapasitor kemudian menentukan dibus manakah kapasitor tersebut harus dipasang.

Pada kondisi kapasitas kapasitor bank yang tersedia tidak memiliki banyak variasi, sehingga secara teori dan praktek di lapangan, kapasitas kapasitor yang dipasang pada sistem sedikit berbeda. Oleh karena itu dengan mempertimbangkan kapasitas yang tersedia di lapangan nilai kapasitor yang digunakan sudah ditentukan berdasarkan literatur yang sudah ada [7].

Untuk menentukan kandidat bus yang akan dipasang kapasitor. Digunakan sebuah metode yang bernama *Loss Sensitivity Factor* (LSF). Metode ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan faktor sensitifitas rugi-rugi yang diilustrasikan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Saluran distribusi dengan impedansi dan beban

Berdasarkan gambar 3.5 rugi-rugi daya aktif I^2R pada saluran ke-K dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P_{loss,j} = \frac{P_j^2 + Q_j^2 \times R_{ij}}{V_j^2} \quad (3.16)$$

Faktor sensitifitas rugi-rugi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{\partial P_{loss,j}}{\partial Q_j} = \frac{2 \times Q_j \times R_{ij}}{V_j^2} \quad (3.17)$$

Dari persamaan (3.18) didapatkan rumus LSF sebagai berikut

$$LSF_j = \frac{2 \times Q_j \times R_{ij}}{V_j^2} \quad (3.18)$$

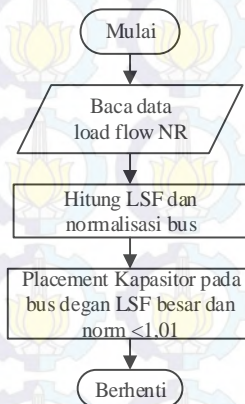
Rugi pada bus yang mempunyai indeks LSF yang besar akan menyebabkan drop tegangan yang besar sehingga lokasi penempatan kapasitor nantinya akan dipilih pada bus yang mempunyai indeks LSF besar.

Semua indeks LSF pada sistem akan dihitung menggunakan persamaan (3.18), kemudian di implementasikan pada IEEE 14 bus modifikasi. Selain mempertimbangkan nilai LSF bus, parameter untuk menentukan lokasi kapasitor adalah indeks normalisasi

Dengan persamaan berikut:

$$norm_j = \frac{V_j}{0,95} \quad (3.19)$$

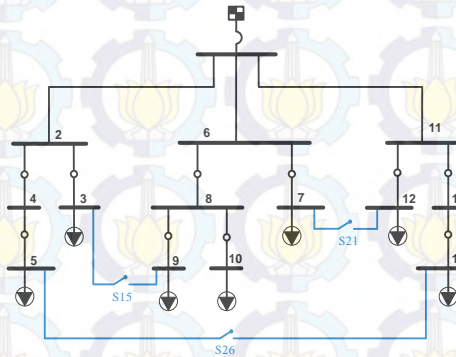
Ketika suatu bus pada sistem, mempunyai indeks LSF dan normalisasi yang jelek maka kandidat bus tersebut akan digunakan sebagai lokasi pemasangan kapasitor bank.



Gambar 3.6 Flow chart penentuan lokasi kapasitor bank

3.4 Sistem Distribusi IEEE 16 Bus Modifikasi

Untuk mencoba keberhasilan metode maka metode akan diterapkan pada sistem standart yaitu IEEE 16 bus yang di modifikasi . Berikut ini data saluran maupun beban yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 3.7 Single line diagram sistem IEEE 16 bus modifikasi

Tabel 3.4 Data saluran IEEE 16 bus modifikasi

Switch	Saluran		Impedansi	
	Bus	Bus	R(ohm)	X(ohm)
	1	2	0,39675	0,529
S12	2	3	0,4232	0,5819
S13	2	4	0,4761	0,9522
S14	4	5	0,2116	0,2116
	1	6	0,5819	0,5819
S17	6	7	0,5819	0,5819
S18	6	8	0,4232	0,5819
S19	8	9	0,5819	0,5819
S20	8	10	0,4232	0,5819
	1	11	0,5819	0,5819
S24	11	12	0,4761	0,6348
S23	11	13	0,4232	0,5819
S25	13	14	0,2116	0,2116
S15	3	9	0,4761	0,9522
S21	7	12	0,2116	0,2116
S26	5	14	0,4761	0,2116

Tabel 3.5 Data beban IEEE 16 bus modifikasi

No Bus	Daya Beban	
	P(MW)	Q(MVar)
1	0	0
2	2	1,6
3	3	1,5
4	2	0,8
5	1,5	1,2
6	4	2,7
6	1	0,9
8	5	3
9	0,6	0,1
10	4,5	3,5
11	1	0,9
12	1	0,7
13	1	0,9

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab 4 ini, akan dibahas mengenai simulasi dan analisis metode *Newton-Raphson* pada sistem distribusi radial IEEE 16 bus modifikasi. Langkah pertama untuk pengujian metode adalah simulasi pada konfigurasi awal IEEE 16 bus modifikasi, Selanjutnya adalah melakukan perbaikan tegangan dengan rekonfigurasi jaringan maupun menempatkan kapasitor bank pada sistem.

Untuk mengetahui efek rekonfigurasi jaringan dan kapasitor bank pada sistem maka di lakukan uji coba simulasi dengan beberapa studi kasus sebagai berikut:

Tabel 4.1 Studi kasus pada simulasi aliran daya

No.	Studi kasus	Keterangan
1	Kasus 1	Konfigurasi awal sistem
2	Kasus 2	Rekonfigurasi Jaringan
3	Kasus 3	Penempatan Kapasitor Bank
4	Kasus 4	Rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank

Dari beberapa kasus diatas kemudian akan dapat ditentukan konfigurasi baru mana yang menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih baik dibandingkan konfigurasi awal.

4.1 Analisis Aliran Daya Sistem IEEE 16 Bus (Kasus 1)

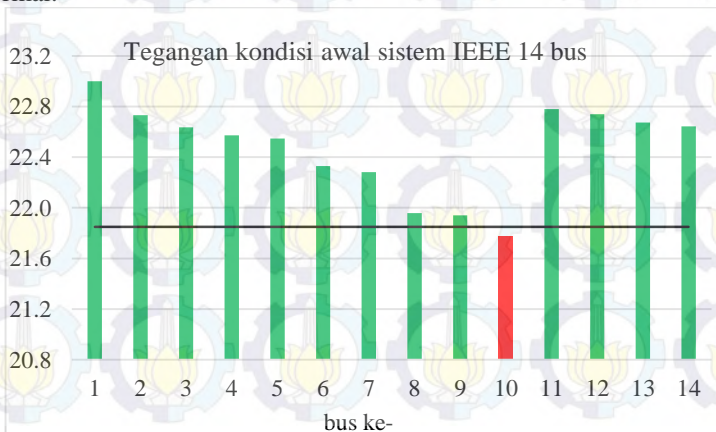
Bab ini akan membahas mengenai simulasi dan analisis aliran daya sistim distribusi radial menggunakan metode *Newton-Raphson*. Dari hasil simulasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi maka didapatkan nilai tegangan agar diketahui kondisi awal sistem sebelum dilakukan upaya perbaikan tegangan dengan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank pada jaringan.

Berikut ini merupakan hasil analisis aliran daya metode *Newton-Raphson* :

Tabel 4.2 Hasil perhitungan tegangan metode *Newton-Raphson* pada sistem IEEE 16 bus modifikasi

Bus No	Tegangan	
	besaran (kV)	sudut (derajat)
1	23,000	0,000
2	22,731	-0,271
3	22,637	-0,394
4	22,573	-0,536
5	22,547	-0,544
6	22,330	-0,314
7	22,281	-0,321
8	21,959	-0,675
9	21,940	-0,709
10	21,778	-0,811
11	22,779	-0,102
12	22,739	-0,135
13	22,673	-0,212
14	22,644	-0,238

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa pada kondisi semula rata-rata nilai tegangan semua bus pada sistem berada pada kondisi normal, kecuali pada bus 10 yang mengalami *undervoltage* karena kurang dari 0,95pu. pada kondisi tersebut maka tegangan harus diperbaiki agar menjadi normal.



Gambar 4.1 Grafik tegangan setiap bus pada kondisi awal sistem

4.2 Rekonfigurasi Jaringan Pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 2)

Rekonfigurasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan *switch* yang sudah terpasang pada sistem. IEEE 16 bus modifikasi mempunyai 3 buah *tie-switch* dan 10 *sectionalizing-switch* yang dapat digunakan untuk merubah konfigurasi jaringan dengan merubah buka tutup switch tersebut. Untuk merubah konfigurasi jaringan dilakukan dengan uji coba buka dan tutup *switch* secara manual. Kombinasi *switch* yang menghasilkan profil tegangan yang lebih baik dari kondisi awal sistem akan dipilih untuk konfigurasi sistem yang baru.

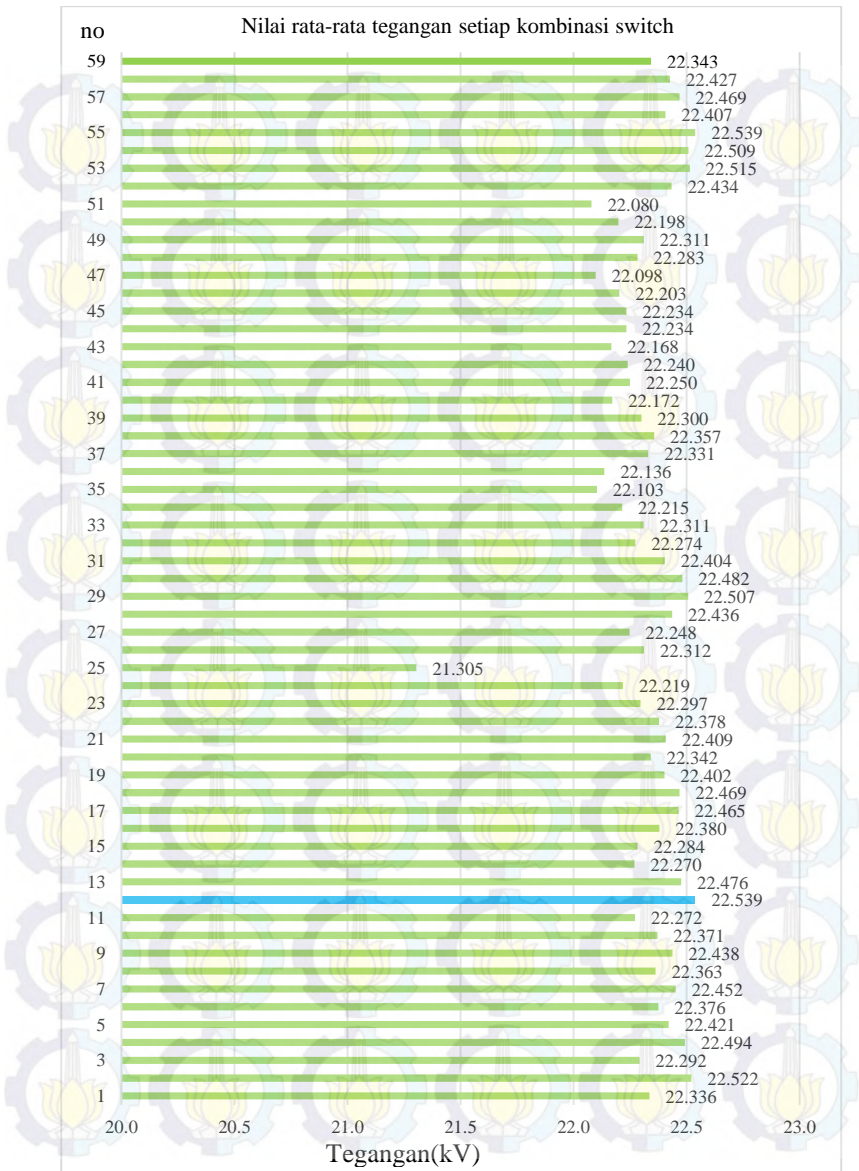
Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan kombinasi *switch* yang mungkin dilakukan. Berikut ini kombinasi yang dilakukan dalam penelitian :

Tabel 4.3 Kombinasi rekonfigurasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi

No	Switch ditutup	Switch dibuka	Rata-rata tegangan	tegangan terendah
1	15	12	22,336	21,541
2	15	19	22,522	21,813
3	15	18	22,292	21,093
4	21	17	22,494	21,830
5	21	24	22,421	21,730
6	26	13	22,376	21,778
7	26	14	22,452	22,778
8	26	23	22,363	21,778
9	26	25	22,438	21,778
10	15&21	12&17	22,371	21,569
11	15&21	12&24	22,272	21,495
12	15&21	19&17	22,539	21,865
13	15&21	19&24	22,476	21,765
14	15&21	18&17	22,270	21,865
15	15&21	18&24	22,284	21,093
16	21&26	17&13	22,380	21,830
17	21&26	17&14	22,465	21,830
18	21&26	17&23	22,469	21,830
19	21&26	17&25	22,402	21,830
20	21&26	24&13	22,342	21,730
21	21&26	24&14	22,409	21,730
22	21&26	24&23	22,378	21,730

Tabel 4.3 kombinasi rekonfigurasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi(Lanjutan)

No	Switch ditutup	Switch dibuka	Rata-rata tegangan	tegangan terendah
23	21&26	24&25	22,297	21,730
24	15&26	12&13	22,219	22,541
25	15&26	12&14	21,305	21,541
26	15&26	12&23	22,312	21,541
27	15&26	12&25	22,248	21,541
28	15&26	19&13	22,436	21,813
29	15&26	19&14	22,507	21,813
30	15&26	19&23	22,482	21,813
31	15&26	19&25	22,404	21,813
32	15&26	18&13	22,274	21,214
33	15&26	18&14	22,311	21,154
34	15&26	18&23	22,215	21,023
35	15&26	18&25	22,103	20,978
36	15&21&26	12&17&13	22,136	21,595
37	15&21&26	12&17&14	22,331	21,596
38	15&21&26	12&17&23	22,357	21,595
39	15&21&26	12&17&25	22,300	22,595
40	15&21&26	12&24&13	22,172	21,495
41	15&21&26	12&24&14	22,250	21,495
42	15&21&26	12&24&23	22,240	21,495
43	15&21&26	12&24&25	22,168	21,495
44	15&21&26	18&17&13	22,234	21,214
45	15&21&26	18&17&14	22,234	21,214
46	15&21&26	18&17&23	22,203	20,978
47	15&21&26	18&17&25	22,098	21,023
48	15&21&26	18&24&13	22,283	21,214
49	15&21&26	18&24&14	22,311	21,154
50	15&21&26	18&24&23	22,198	21,023
51	15&21&26	18&24&25	22,080	20,978
52	15&21&26	19&17&13	22,434	21,865
53	15&21&26	19&17&14	22,515	21,865
54	15&21&26	19&17&23	22,509	21,865
55	15&21&26	19&17&25	22,539	21,865
56	15&21&26	19&24&13	22,407	21,765
57	15&21&26	19&24&14	22,469	21,752
58	15&21&26	19&24&23	22,427	21,765
59	15&21&26	19&24&25	22,343	21,765



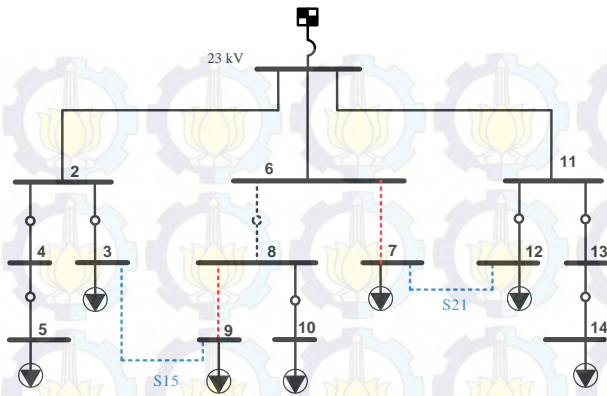
Gambar 4.2 Rata-rata tegangan sistem dengan setiap kombinasi *switch*

Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil peningkatan tegangan yang lebih signifikan dengan melakukan rekonfigurasi sesuai kombinasi nomor 12, dengan cara mengaktifkan *switch* S15(3,9), S21(7,12) serta memutus *switch* S19(3,9) dan S(6,7). Dengan merubah konfigurasi jaringan sesuai kombinasi tersebut rata-rata tegangan semua bus akan menjadi 22,539kV. hasil simulasi yang dilakukan menghasilkan profil tegangan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil analisa tegangan pada konfigurasi baru

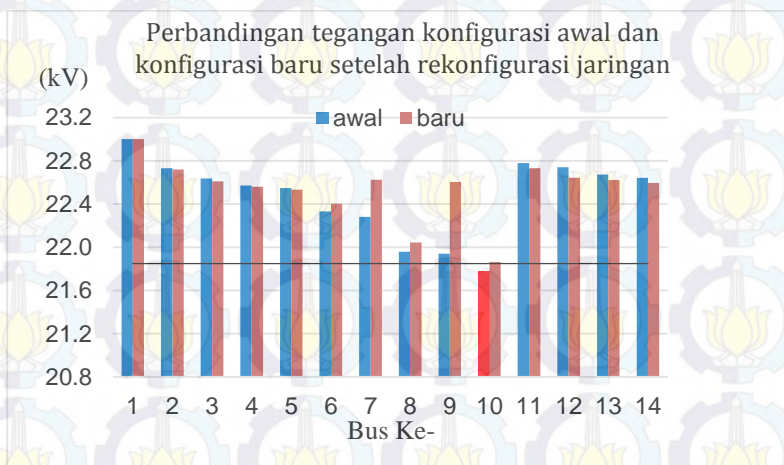
No Bus	Tegangan awal Magnitude (kV)	Tegangan baru Magnitude (kV)
1	23	23
2	22,731	22,718
3	22,637	22,609
4	22,573	22,559
5	22,547	22,534
6	22,330	22,401
7	22,281	22,625
8	21,959	22,045
9	21,940	22,603
10	21,778	21,865
11	22,779	22,730
12	22,739	22,643
13	22,673	22,623
14	22,644	22,594
Rata-rata	22,472	22,539

Dari data pada tabel 4.4 diperoleh hasil bahwa konfigurasi baru pada sistem ini akan menghasilkan rata-rata peningkatan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi awal. Peningkatan profil tegangan terlihat saat konfigurasi awal rata-rata tegangan setiap bus adalah 22,472kV. Saat menerapkan konfigurasi baru, rata-rata semua bus menjadi sebesar 22,539kV. dapat dilihat pula bahwa tegangan pada bus 10 sebesar 21,865kV sudah menjadi normal yaitu berada di atas diatas 0,95pu akibat rekonfigurasi.



Gambar 4.3 Konfigurasi baru IEEE 16 bus modifikasi setelah rekonfigurasi

Konfigurasi awal single line diagram IEEE 16 bus modifikasi dapat dilihat pada gambar 3.7, sedangkan konfigurasi baru sistem setelah rekonfigurasi jaringan dapat dilihat di grafik pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan tegangan konfigurasi awal dan konfigurasi baru

4.3 Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 3)

Pada tugas akhir ini, analisa penempatan kapasitor bank pada jaringan distribusi bertujuan untuk meningkatkan profil tegangan. Lokasi penempatan kapasitor bank ditentukan menggunakan metode *Loss Sensitivity Factor* (LSF). Lokasi penempatan kapasitor bank dilakukan pada bus yang mempunyai indeks LFS terbesar dan mempunyai indeks normalisasi kurang dari 1,01.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan indeks *Loss Sensitivity Factor* konfigurasi awal

Bus	LSF	Normaliasi
2	0,0079	1,0403
3	0,0025	1,0360
4	0,0037	1,0331
5	0,0010	1,0319
6	0,0243	1,0220
7	0,0021	1,0197
8	0,0117	1,0050
9	0,0002	1,0041
10	0,0062	0,9967
11	0,0079	1,0425
12	0,0013	1,0407
13	0,0031	1,0376
14	0,0008	1,0363

Berdasarkan tabel 4.5 dan penempatan kapasitor bank akan dilakukan pada bus 8 dan bus 10. Nilai kapasitor yang akan digunakan akan dipasang berdasarkan kebutuhan daya reaktif beban total sebesar 18.8MVar. Berdasarkan data tersebut maka nilai kapasitor yang digunakan haruslah lebih kecil dari 18,8Mvar agar tidak terjadi kompensasi yang berlebihan dan tegangan bus menjadi *overvoltage*.

Mengacu pada kapasitas kapasitor yang terdapat di dalam kondisi praktis, kapasitor yang digunakan adalah 1800 kVar. nilai tersebut

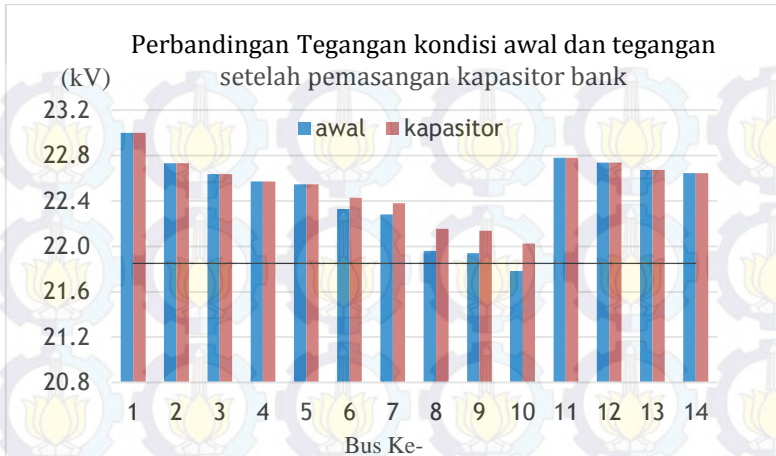
merupakan nilai kapasitor terbesar yang terdapat pada kondisi dilapangan.

Tabel 4.6 Hasil analisis tegangan akibat penempatan kapasitor bank

Bus	Tegangan	
	magnitude (kV)	magnitude (kV)
1	23.000	23.000
2	22.731	22.731
3	22.637	22.637
4	22.573	22.573
5	22.547	22.547
6	22.330	22.429
7	22.281	22.379
8	21.959	22.155
9	21.940	22.136
10	21.778	22.023
11	22.779	22.779
12	22.739	22.739
13	22.673	22.673
14	22.644	22.644
Rata-rata	22.472	22.532

Dari hasil simulasi tersebut akibat pemasangan kapasitor bank pada jaringan, rata-rata tegangan setiap bus akan meningkat menjadi 22,532kV dan bus yang mengalami *undervoltage* yaitu bus 10 menjadi normal setelah pemasangan kapasitor.

Kenaikan rata-rata akibat penempatan kapasitor masih lebih kecil dibandingkan dengan rekonfigurasi jaringan. Perbandingan tegangan antara kondisi awal dan kondisi setelah pemasangan kapasitor bank pada jaringan dapat dilihat pada gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan tegangan konfigurasi awal dan tegangan akibat pemasangan kapasitor bank

4.4 Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 4)

Pada sub bab ini digunakan rekonfigurasi dan kapasitor bank secara bersamaan untuk meningkatkan profil tegangan. Konfigurasi baru yang digunakan adalah konfigurasi pada gambar 4.3. Dari konfigurasi yang sudah dipilih nilai LSF dari setiap bus akan dicari untuk menentukan kandidat bus yang akan digunakan untuk pemasangan kapasitor bank agar menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih signifikan. Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan indeks *Loss Sensitivity Factor* pada konfigurasi baru

Bus	LSF	norm
2	0,00807	1,03973
3	0,00265	1,03475
9	0,00166	1,03247
4	0,00225	1,03131
5	0,00793	1,02522

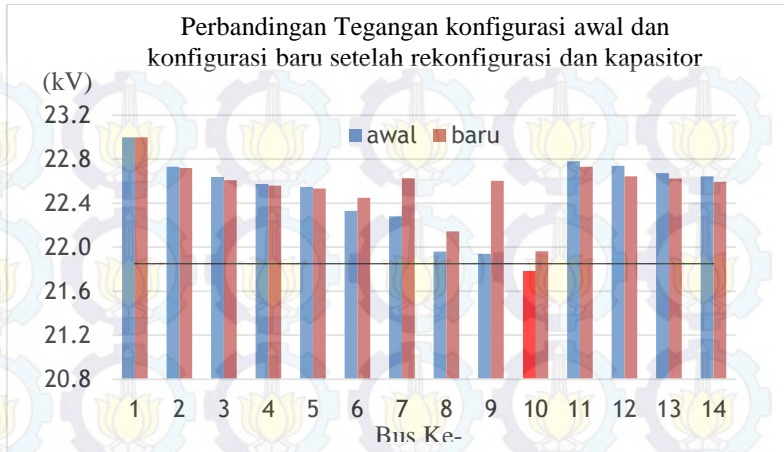
Tabel 4.7 Hasil perhitungan indeks *Loss Sensitifity Factor* pada konfigurasi baru(Lanjutan)

Bus	LSF	norm
6	0,00205	1,03548
8	0,01139	1,00893
10	0,00017	1,03445
11	0,00852	1,00068
12	0,00816	1,04027
7	0,00058	1,03629
13	0,00315	1,03538
14	0,00083	1,03405

Dari tabel 4.8 maka kandidat bus yang digunakan untuk pemasangan kapasitor bank adalah bus 8 karena memenuhi syarat normalisasi serta mempunyai indeks LSF yang besar. Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil sebagai berikut :

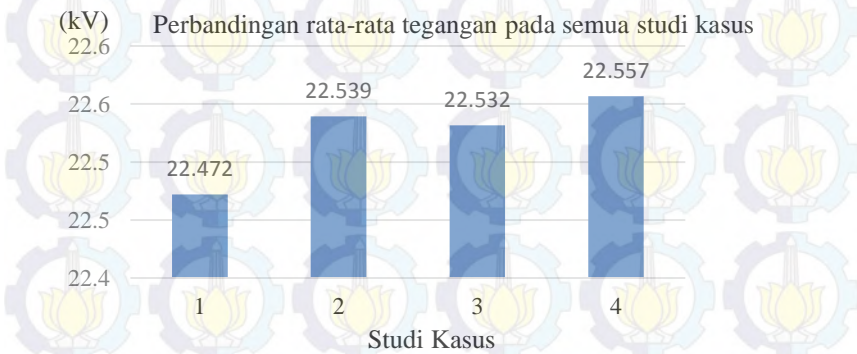
Tabel 4.8 Hasil analisis tegangan akibat rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank

No Bus	Tegangan	
	magnitude (kV)	magnitude (kV)
1	23,000	23,000
2	22,731	22,718
3	22,637	22,609
4	22,573	22,559
5	22,547	22,534
6	22,330	22,450
7	22,281	22,625
8	21,959	22,143
9	21,940	22,603
10	21,778	21,963
11	22,779	22,730
12	22,739	22,643
13	22,673	22,623
14	22,644	22,594
Rata-rata	22,472	22,557



Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara tegangan konfigurasi awal dan tegangan akibat rekonfigurasi jaringan dan pemasangan kapasitor bank

Apabila hanya rekonfigurasi jaringan atau hanya penempatan kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki profil tegangan, maka penggunaan rekonfigurasi jaringan dan kapaitor bank secara bersamaan .



Gambar 4.7 Grafik perbandingan rata-rata tegangan untuk semua studi kasus

Dari grafik 4.5 rekonfigurasi dan kapasitor bank dapat dilakukan untuk memperbaiki profil tegangan. Namun peningkatan tegangan yang lebih signifikan terjadi ketika rekonfigurasi jaringan dan kapasitor bank dilakukan secara bersamaan.

4.5 Perbandingan Analisis Aliran Daya Metode *Newton-Raphson* Untuk Aplikasi Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor Dengan ETAP 12,6

Untuk mengetahui akurasi perhitungan, baik implementasi metode *Newton-Raphson* maupun rekonfigurasi jaringan serta pemasangan kapasitor bank, maka metode tersebut perlu perbandingan dan validasi untuk membuktikan kebenaran metode tersebut.

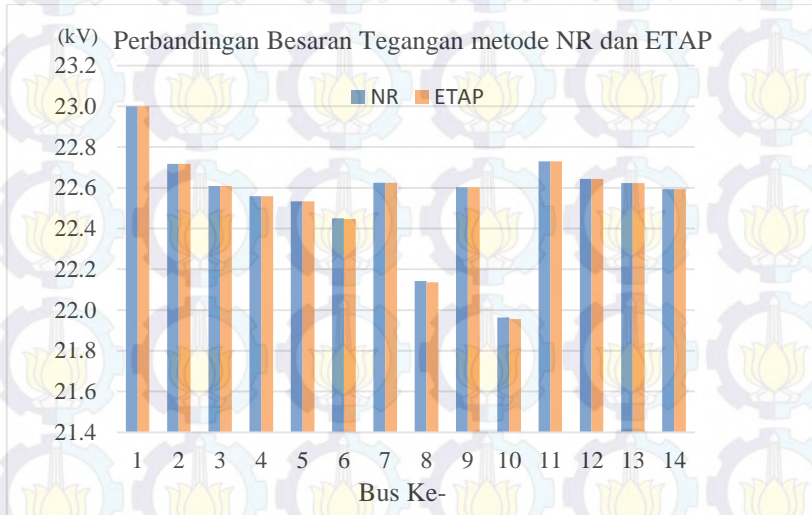
Pada tugas akhir ini ETAP 12,6 digunakan sebagai perbandingan karena *software* tersebut mampu digunakan untuk analisa aliran daya sistim distribusi dan sudah digunakan secara riil pada industri.

Berikut adalah data perbandingan hasil analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* dengan *software* etap 12,6 untuk sistem IEEE 16 bus modifikasi.

Tabel 4.9 Hasil validasi perhitungan tegangan metode *Newton-Raphson* pada IEEE 16 bus dengan konfigurasi baru dan kapasitor

Bus	Newton-Raphson		ETAP		Error (%)	
	Tegangan		Tegangan			
No	Besaran (kV)	sudut (derajat)	Besaran (kV)	sudut (derajat)	besaran	sudut
1	23,00000	0,00000	23,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	22,71799	-0,30120	22,71802	-0,30120	0,00011	0,00077
3	22,60934	-0,45935	22,60923	-0,45935	0,00048	0,00097
4	22,55937	-0,56741	22,55932	-0,56741	0,00022	0,00009
5	22,53402	-0,57457	22,53402	-0,57457	0,00002	0,00083
6	22,44997	-0,39082	22,44639	-0,38228	0,01594	2,23388
7	22,62524	-0,16694	22,62533	-0,16694	0,00038	0,00049
8	22,14274	-0,79873	22,13566	-0,78390	0,03199	1,89138
9	22,60278	-0,47121	22,60279	-0,47121	0,00003	0,00052
10	21,96324	-0,93272	21,95603	-0,91799	0,03285	1,60478
11	22,72997	-0,10802	22,72998	-0,10802	0,00004	0,00421
12	22,64301	-0,16457	22,64304	-0,16457	0,00012	0,00161
13	22,62297	-0,21947	22,62303	-0,21947	0,00028	0,00185
14	22,59393	-0,24556	22,59382	-0,24556	0,00049	0,00127

Berdasarkan validasi pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan tegangan setelah rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank mempunyai *error* yang cukup kecil dibandingkan dengan ETAP 12,6. Nilai *error* terbesar yang dihasilkan sebesar 0,03285 % untuk besaran dan 2,23388 % untuk sudut tegangan.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Metode *Newton-Raphson* Dengan ETAP pada IEEE 16 bus modifikasi dengan konfigurasi baru dan kapasitor bank.

DAFTAR PUSTAKA

1. U. Thongkrajay, N. Poolsawat, T. Ratniyomchai & T. Kulwanichpong "Alternative Newton-Raphson Power Flow Calculation in Unbalance Three-Phase Distribution Systems", Proceedings of 5th WSEAS International conference on Application of electrical engineering . 2, Mei 2007
2. Horacio Diaz R., Ildefonso Harnisch V., Raul Sanhueza H., "Feeder Reconfiguration And Capacitor Placement In Distribution Systems: An Approach For Simultaneous Solution Using A Genetic Algorithm", Revista Chilena de ingnierira, Vol 18 No 1, 2010,pp 144-153.
3. Suhadi, "Teknik Distribusi Tenaga Listrik", Departemen pendidikan nasional, jakarta, 17 agustus 2008.
4. Penangsang, Ontoseno. "Analisis Aliran Daya". ITS Press, Surabaya, 2006.
5. Saadat, Hadi. "Power System Analysis (Second Edition)", McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
6. T. Kulwanichpong " Simplified Newton-Raphson power flow solution method", Journal of electrical and energy systems 32(2010) 551-558. , Thailand, 6 Nopember 2009.
7. Mirzaeian, Dehkordi. "Optimal Capacitor Placement and Sizing in TABRIZ Distribution System Using Loss Sensitivity Factors and Particle Swarm Optimization (PSO)", ITS, Surabaya, 2012.
8. Priambodo, Pungky. "Analisis Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang Menggunakan Metode K-Matrik Dan Z_{br} Pada Sistem Distribusi 20kV Kota Surabaya", ITS, Surabaya, 2012.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Memperbaiki tegangan pada jaringan distribusi IEEE 16 bus modifikasi dengan rekonfigurasi jaringan akan meningkatkan rata-rata tegangan dari 22,447kV menjadi 22,539kV. Memperbaiki tegangan dengan kapasitor bank akan meningkatkan profil tegangan menjadi 22,532 sedangkan saat menggunakan rekonfigurasi dan kapasitor bank akan menghasilkan profil tegangan menjadi 22,557kV.

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan bahwa analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* dapat digunakan untuk aplikasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank pada IEEE 16 bus modifikasi. Berdasarkan hasil validasi dengan software ETAP metode *Newton-Raphson* mempunyai *error* terbesar dengan nilai 0.03285%

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

Mempertimbangkan penerapan kecerdasan buatan untuk rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi kapasitor agar penentuan konfigurasi baru berjalan lebih cepat.



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi

kombinasi	1	2	3	4	5	6
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,820	22,369	22,718	22,841	22,787	22,627
3	21,541	21,886	22,609	22,747	22,692	22,532
4	22,662	22,207	22,559	22,203	22,711	22,318
5	22,637	22,182	22,534	22,229	22,444	22,245
6	22,202	22,780	22,350	22,330	22,330	22,330
7	22,152	22,732	22,301	22,281	22,281	22,281
8	21,726	21,280	21,993	21,959	21,959	21,959
9	21,585	21,720	22,603	21,940	21,940	21,940
10	21,543	21,093	21,813	21,778	21,778	21,778
11	22,779	22,779	22,779	22,633	22,708	22,908
12	22,739	22,739	22,739	22,592	22,668	22,868
13	22,673	22,673	22,673	22,405	22,541	22,142
14	22,644	22,644	22,644	22,323	22,487	22,160
Rata-rata	22,336	22,292	22,522	22,376	22,452	22,363

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	7	8	9	10	11	12
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,668	22,731	22,731	22,820	22,820	22,718
3	22,573	22,637	22,637	21,493	21,595	22,609
4	22,421	22,573	22,573	22,662	22,662	22,559
5	22,366	22,547	22,547	22,637	22,637	22,534
6	22,330	22,382	22,284	22,155	22,253	22,401
7	22,281	22,625	22,190	22,060	22,625	22,625
8	21,959	22,011	21,912	21,678	21,779	22,045
9	21,940	21,992	21,893	21,537	21,639	22,603
10	21,778	21,830	21,730	21,495	21,596	21,865
11	22,860	22,730	22,823	22,823	22,730	22,730
12	22,819	22,643	22,174	22,044	22,643	22,643
13	22,818	22,623	22,717	22,717	22,623	22,623
14	22,311	22,594	22,688	22,688	22,594	22,594
Rata-rata	22,438	22,494	22,421	22,272	22,371	22,539

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	13	14	15	16	17	18
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,369	22,369	22,718	22,787	22,841	22,668
3	21,886	21,886	22,609	22,692	22,747	22,573
4	22,207	22,207	22,559	22,711	22,151	22,421
5	22,182	22,182	22,534	22,393	22,178	22,366
6	22,829	22,736	22,304	22,382	22,382	22,382
7	22,625	22,643	22,210	22,553	22,477	22,706
8	21,280	21,280	21,947	22,011	22,011	22,011
9	21,720	21,720	22,603	21,992	21,992	21,992
10	21,093	21,093	21,765	21,830	21,830	21,830
11	22,730	22,823	22,823	22,658	22,582	22,811
12	22,643	22,627	22,193	22,571	22,495	22,724
13	22,623	22,717	22,717	22,491	22,354	22,769
14	22,594	22,688	22,688	22,436	22,272	22,311
Rata-rata	22,270	22,284	22,476	22,465	22,380	22,469

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	19	20	21	22	23	24
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,627	22,841	22,787	22,627	22,668	22,928
3	22,532	22,747	22,692	22,532	22,573	21,541
4	22,318	22,248	22,711	22,318	22,421	22,203
5	22,245	22,275	22,488	22,245	22,366	22,229
6	22,382	22,284	22,284	22,284	22,284	22,202
7	22,755	22,190	22,190	22,190	22,190	22,152
8	22,011	21,912	21,912	21,912	21,912	21,726
9	21,992	21,893	21,893	21,893	21,893	21,585
10	21,830	21,730	21,730	21,730	21,730	21,543
11	22,860	22,677	22,752	22,952	22,903	22,633
12	22,773	22,174	22,174	22,174	22,174	22,592
13	22,142	22,450	22,586	22,142	22,862	22,405
14	22,160	22,368	22,531	22,160	22,311	22,323
Rata-rata	22,402	22,342	22,409	22,297	22,378	22,219

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	25	26	27	28	29	30
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,875	22,717	22,757	22,828	22,774	22,614
3	21,541	21,541	21,541	22,720	22,665	22,505
4	22,800	22,409	22,511	22,203	22,698	22,304
5	22,444	22,336	22,456	22,229	22,444	22,231
6	22,202	22,202	22,202	22,350	22,350	22,350
7	22,152	22,152	22,152	22,301	22,301	22,301
8	21,726	21,726	21,726	21,993	21,993	21,993
9	21,585	21,585	21,585	22,713	22,659	22,498
10	21,543	21,543	21,543	21,813	21,813	21,813
11	22,708	22,908	22,860	22,633	22,708	22,908
12	22,668	22,868	22,819	22,592	22,668	22,868
13	22,541	22,233	22,818	22,405	22,541	22,128
14	22,487	22,251	22,402	22,323	22,487	22,146
Rata-rata	22,305	22,248	22,312	22,436	22,507	22,404

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	31	32	33	34	35	36
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,655	22,482	22,426	22,261	22,303	22,928
3	22,546	22,003	21,945	21,776	21,819	21,595
4	22,407	22,203	22,349	21,946	22,051	22,151
5	22,352	22,229	22,444	21,871	21,995	22,178
6	22,350	22,780	22,780	22,780	22,780	22,253
7	22,301	22,732	22,732	22,732	22,732	22,477
8	21,993	21,400	21,340	21,166	21,211	21,779
9	22,539	21,837	21,779	21,608	21,652	21,639
10	21,813	21,214	21,154	20,978	21,023	21,596
11	22,860	22,633	22,708	22,908	22,860	22,582
12	22,819	22,592	22,668	22,868	22,819	22,495
13	22,818	22,405	22,541	21,766	22,818	22,354
14	22,298	22,323	22,487	21,785	21,940	22,272
Rata-rata	22,482	22,274	22,311	22,103	22,215	22,236

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	37	38	39	40	41	42
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,875	22,717	22,757	22,928	22,875	22,717
3	21,595	21,595	21,595	21,493	21,493	21,493
4	22,800	22,409	22,511	22,248	22,800	22,409
5	22,393	22,336	22,456	22,275	22,488	22,336
6	22,253	22,253	22,253	22,155	22,155	22,155
7	22,553	22,755	22,706	22,060	22,060	22,060
8	21,779	21,779	21,779	21,678	21,678	21,678
9	21,639	21,639	21,639	21,537	21,537	21,537
10	21,596	21,596	21,596	21,495	21,495	21,495
11	22,658	22,860	22,811	22,677	22,752	22,952
12	22,571	22,773	22,724	22,044	22,044	22,044
13	22,491	22,233	22,769	22,450	22,586	22,233
14	22,436	22,251	22,402	22,368	22,531	22,251
Rata-rata	22,331	22,300	22,357	22,172	22,250	22,168

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	43	44	45	46	47	48
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,757	22,482	22,426	22,261	22,303	22,828
3	21,493	22,003	21,945	21,776	21,819	22,720
4	22,511	22,248	22,349	21,946	22,051	22,151
5	22,456	22,275	22,488	21,871	21,995	22,178
6	22,155	22,736	22,736	22,736	22,736	22,401
7	22,060	22,643	22,643	22,643	22,643	22,477
8	21,678	21,400	21,340	21,166	21,211	22,045
9	21,537	21,837	21,779	21,608	21,652	22,713
10	21,495	21,214	21,154	20,978	21,023	21,865
11	22,903	22,677	22,752	22,952	22,903	22,582
12	22,044	22,627	22,627	22,627	22,627	22,495
13	22,862	22,450	22,586	21,766	22,862	22,354
14	22,402	22,368	22,531	21,785	21,940	22,272
Rata-rata	22,240	22,283	22,311	22,080	22,198	22,434

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	49	50	51	52	53	54
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,774	22,718	22,655	22,828	22,774	22,614
3	22,665	22,609	22,546	22,720	22,665	22,505
4	22,698	22,559	22,407	22,248	22,698	22,304
5	22,393	22,534	22,352	22,275	22,488	22,231
6	22,401	22,401	22,401	22,304	22,304	22,304
7	22,553	22,625	22,706	22,210	22,210	22,210
8	22,045	22,045	22,045	21,947	21,947	21,947
9	22,659	22,603	22,539	22,713	22,659	22,498
10	21,865	21,865	21,865	21,765	21,765	21,765
11	22,658	22,730	22,811	22,677	22,752	22,952
12	22,571	22,643	22,724	22,193	22,193	22,193
13	22,491	22,623	22,769	22,450	22,586	22,128
14	22,436	22,594	22,298	22,368	22,531	22,146
Rata-rata	22,515	22,539	22,509	22,407	22,469	22,343

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	55	56	57	58	59
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,655	22,482	22,482	22,261	22,303
3	22,546	22,003	22,003	21,776	21,819
4	22,407	22,151	22,151	21,946	22,051
5	22,352	22,178	22,178	21,871	21,995
6	22,304	22,829	22,829	22,829	22,829
7	22,210	22,477	22,477	22,755	22,706
8	21,947	21,400	21,400	21,166	21,211
9	22,539	21,837	21,837	21,608	21,652
10	21,765	21,214	21,214	20,978	21,023
11	22,903	22,582	22,582	22,860	22,811
12	22,193	22,495	22,495	22,773	22,724
13	22,862	22,354	22,354	21,766	22,769
14	22,298	22,272	22,272	21,785	21,940
Rata-rata	22,427	22,234	22,234	22,098	22,203



STUDY OF THREE PHASE RADIAL POWER FLOW IN DISTRIBUTION NETWORK USING NEWTON- RAPHSON METHOD FOR IMPROVING VOLTAGE PROFILE WITH NETWORK RECONFIGURATION AND CAPACITOR PLACEMENT

Student Name : Ainul Yaqin
Id Number : 2213105079
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Id Number : 19490715 197412 1 001
Supervisor II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
Id Number : 19551207 198003 1 004

ABSTRACT

Power flow analysis is the important part of distribution systems design and operation. The one of popular power flow method is Newton-Raphson. This method generally used in transmission systems analysis but, distribution system has the defferent characteristhic that regular newton-raphson can't handle. Distribution system operating in middle voltage level, radial structure and connected directly to load, so the voltage profile is should be in a range of standart . This research proposed modified Newton-Raphson power flow method is used to improve voltage profile witch reconfiguration and capacitor placement. This research using IEEE 16 bus modified to test proposed method. The result is Newton-Raphson is effective can be applied to reconfiguration and capacitor placement. The validation with ETAP show that the biggest error of method was 0,03285%. Reconfiguration and capacitor placement simultaneously can improve average voltage profile for each bus.

Keywords : Distribution Power Flow Analysis, Reconfiguration, Capacitor Bank



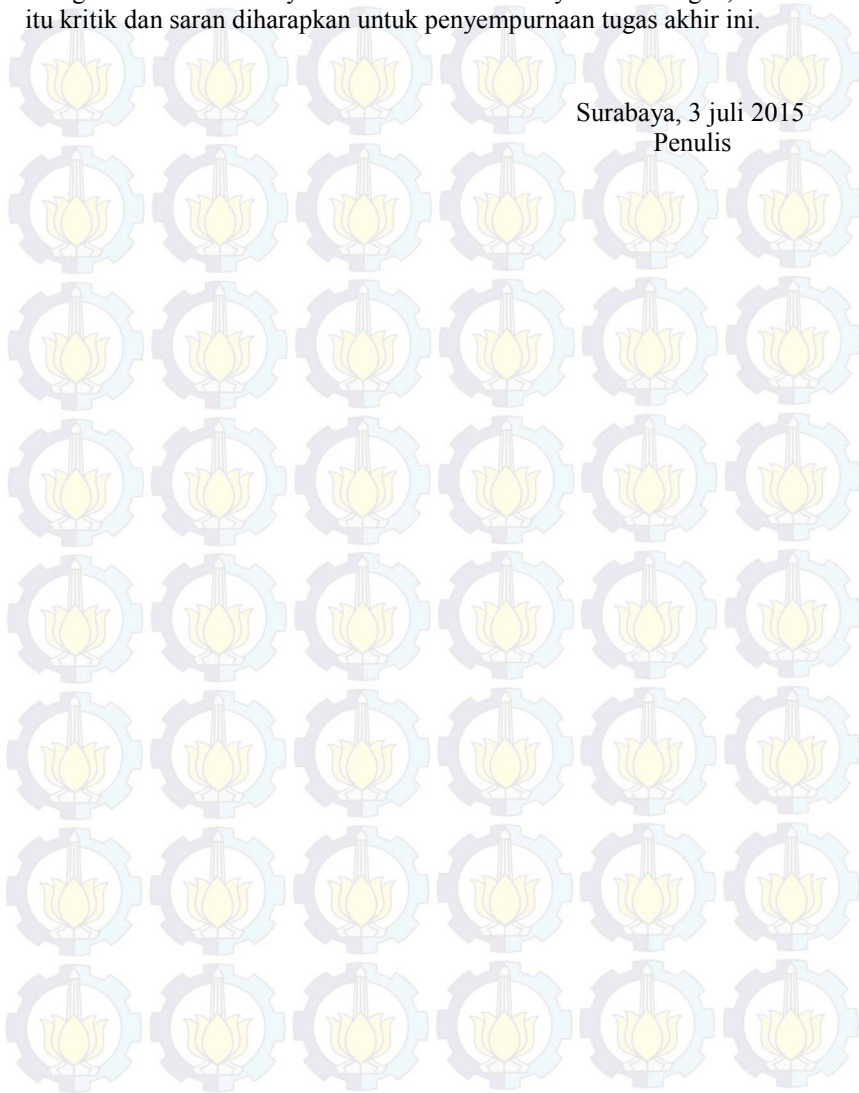
KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Metode *Newton-Raphson* Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Menggunakan Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan Kapasitor Bank**”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Bapak dan Ibu, Moh. Arifin, Rahmatul Ummah, serta seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Dr. Ir. Soedibyo M.MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam tugas akhir.
4. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
5. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT., Suyanto ST., MT. dan Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, dan yang telah memberikan dukungan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Keluarga Laboratorium simulasi B103, albert, khakim, surya, citra, ayla, reyhan, nani, fadhli, dan kharis serta trainee 2012 serta 2013 yang sudah banyak membantu.
7. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS baik LJ maupun Reguler yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
8. Semua rekan-rekan kuliah yang sudah banyak membantu
9. Semua rekan kos yang selalu menemani saat susah maupun senang.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun orang lain. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, 3 juli 2015
Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	4
 BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN ANALISA ALIRAN DAYA	
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.2.1 Jaringan Distribusi Radial	6
2.2.1.1 Jaringan radial tipe pohon	7
2.2.1.2 Jaringan radial dengan <i>tie-switch</i> pemisah	8
2.2.1.3 Jaringan dengan pembagian fasa area	9
2.2.1.4 Jaringan radial tipe pusat beban	10
2.2 Analisa Aliran Daya	10
2.2.1 Metode <i>Newton-Raphson</i>	11
2.2.1.1 Fungsi Non-Linier	11
2.2.2 Penyelesaian aliran daya metode <i>Newton-Raphson</i>	15
2.3 Kapasitor Bank	17

BAB 3 ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI METODE *NEWTON-RAPHSON*, REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK

3.1	Studi Aliran Daya Metode <i>Newton-Raphson</i> Pada Sistem Distribusi Radial.....	20
3.2	Rekonfigurasi Jaringan distribusi	29
3.3	<i>Loss sensitifity factor (LSF)</i> untuk penempatan kapasitor bank ...	31
3.4	Sistem distribusi IEEE 16 bus	31

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

4.1	Analisa aliran daya sistem IEEE 14 bus (Kasus1)	33
4.2	Perbandingan analisis aliran daya metode <i>Newton-Raphson</i> dengan ETAP 12.6.....	34
4.3	Rekonfigurasi jaringan pada sistem IEEE 16 bus(Kasus2)	37
4.4	Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 3)	43
4.5	Rekonfigurasi dan Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus(Kasus 4)	44

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil iterasi contoh 2.2.....	15
Tabel 3.1	Data saluran dan beban contoh 3.1.....	24
Tabel 3.2	Hasil analisa aliran daya metode <i>Newton-Raphson</i> contoh 3.1.....	27
Tabel 3.3	Jumlah kombinasi konfigurasi baru yang mungkin terjadi pada jaringan sederhana pada gambar 3.3.....	30
Tabel 3.4	Data saluran IEEE 16 bus modifikasi.....	33
Tabel 3.5	Data beban IEEE 16 bus modifikasi.....	34
Tabel 4.1	Studi kasus pada simulasi aliran daya.....	35
Tabel 4.2	Hasil perhitungan tegangan metode <i>Newton-Raphson</i> pada sistem IEEE 16 bus modifikasi.....	36
Tabel 4.3	Kombinasi rekonfigurasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi.....	37
Tabel 4.4	Hasil analisa tegangan pada konfigurasi baru.....	40
Tabel 4.5	Hasil perhitungan indeks <i>Loss Sensitivity Factor</i> konfigurasi awal.....	42
Tabel 4.6	Hasil analisis tegangan akibat penempatan kapasitor bank.....	43
Tabel 4.7	Hasil perhitungan indeks <i>Loss Sensitivity Factor</i> pada konfigurasi baru.....	44
Tabel 4.8	Hasil analisis tegangan akibat rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank.....	45
Tabel 4.9	Hasil Validasi perhitungan metode <i>Newton-Raphson</i> pada IEEE 16 bus modifikasi.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Flow Chart Penyelesaian Tugas Akhir	3
Gambar 2.2	Sistem Tenaga Listrik Secara Umum	8
Gambar 2.3	Jaringan Distribusi Radial	7
Gambar 2.4	Jaringan Radial Tipe Pohon.....	8
Gambar 2.5	Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Tie-Switch</i> .	9
Gambar 2.6	Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Phase Area</i>	9
Gambar 2.7	Ilustrasi Metode <i>Newton-Raphson</i>	11
Gambar 2.8	Rangkaian Konduktor Sebelum Pemasangan Kapasitor	18
Gambar 2.9	Rangkaian Konduktor Setelah Pemasangan Kapasitor .	18
Gambar 2.10	Aliran Daya Tanpa Kompensasi	18
Gambar 2.11	Aliran Daya Dengan Kompensasi	18
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penyelesaian Analisa Aliran Daya	19
Gambar 3.2	Single Line Diagram Contoh 3.1	23
Gambar 3.3	Ilustrasi Rekonfigurasi Pada Jaringan Distribusi.....	29
Gambar 3.4	Tie dan Sectionalizing switch pada jaringan distribusi.	28
Gambar 3.5	Saluran distribusi dengan impedansi dan beban	28
Gambar 3.6	Flow chart penentuan lokasi kapasitor bank.....	32
Gambar 3.7	Single line diagram sistem IEEE 16 bus modifikasi.....	28
Gambar 4.1	Grafik tegangan setiap bus pada kondisi awal.....	36
Gambar 4.2	Rata-rata tegangan sistem dengan setiap kombinasi switch.....	38
Gambar 4.3	Konfigurasi baru IEEE 16 bus modifikasi setelah rekonfigurasi.....	41
Gambar 4.4	Grafik perbandingan tegangan konfigurasi awal dan konfigurasi baru.....	41
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Tegangan Konfigurasi awal dan tegangan akibat pemasangan kapasitor bank	44
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Tegangan Konfigurasi awal dan tegangan akibat rekonfigurasi jaringan dan pemasangan kapasitor bank.....	44
Gambar 4.7	Grafik perbandingan Tegangan rata-rata untuk semua studi kasus	48
Gambar 4.8	Grafik perbandingan Tegangan Hasil metode <i>Newton-Raphson</i> pada IEEE 16 bus modifikasi dengan konfigurasi baru dan Kapasitor Bank	48



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ainul Yaqin. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Moh. Arifin dan Rohmtul Ummah. Penulis lahir pada tanggal 24 Maret 1991 di Kota Kediri. Mengawali pendidikannya di MIN Tanjung Tani Kabupaten Nganjuk, pada tahun 1997-2003. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di MTsN Tanjung Tani Kabupaten Nganjuk pada tahun 2003- 2006. Setelah itu, penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di MAN 3 Kota Kediri pada tahun 2006–2009. Setelah lulus menyelesaikan pendidikannya di tingkat SMA pada tahun 2009, penulis meneruskan pendidikannya ke jenjang perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa perkuliahan penulis belum pernah mengikuti organisasi namun pada akhir tahun perkuliahan penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro FTI ITS pada tahun 2013-2014.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisa aliran daya merupakan bagian yang penting dalam melakukan desain dan operasi pada sistem distribusi tenaga listrik. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk analisa aliran daya adalah metode *Newton-Raphson*. Metode tersebut umumnya digunakan untuk analisa sistem transmisi. Topologi sistem distribusi yang berbeda dengan sistem transmisi menyebabkan analisa aliran daya klasik tidak selalu konvergen bila di terapkan di sistem distribusi[1]. Sistem distribusi dioperasikan dengan tegangan rendah dan langsung tersambung dengan beban, oleh karena itu profil tegangan harus dijaga pada standart yang diperbolehkan. Pada tugas akhir ini diusulkan analisa aliran daya sistem distribusi radial tiga fasa seimbang dengan metode *Newton-Raphson* untuk aplikasi perbaikan profil tegangan pada bus dengan cara melakukan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank. Dengan upaya rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank, diharapkan profil tegangan akan menjadi lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Hal yang menjadi permasalahan dan akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Memodifikasi metode standart *Newton-Raphson* agar dapat di implementasikan pada sistem distribusi radial tiga fasa seimbang.
2. Meningkatkan profil tegangan bus pada jaringan distribusi radial.
3. Memperbaiki profil tegangan pada bus menggunakan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank.

Untuk memperjelas bahasan perlu adanya pembatasan masalah. Adapun batasan tersebut adalah :

Metode analisa aliran daya yang digunakan adalah *Newton-Raphson* dengan saluran dan beban seimbang. Nilai kapasitor bank yang digunakan dibatasi sesuai dengan nilai yang terdapat dilapangan[2].

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah memperelajari cara pembuatan simulasi aliran daya sistem distribusi

radial menggunakan metode *Newton-Raphson*. Tegangan setiap bus hasil simulasi dijadikan acuan melakukan rekonfigurasi jaringan dan menempatkan kapasitor bank untuk meningkatkan profil tegangan meningkat.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Data

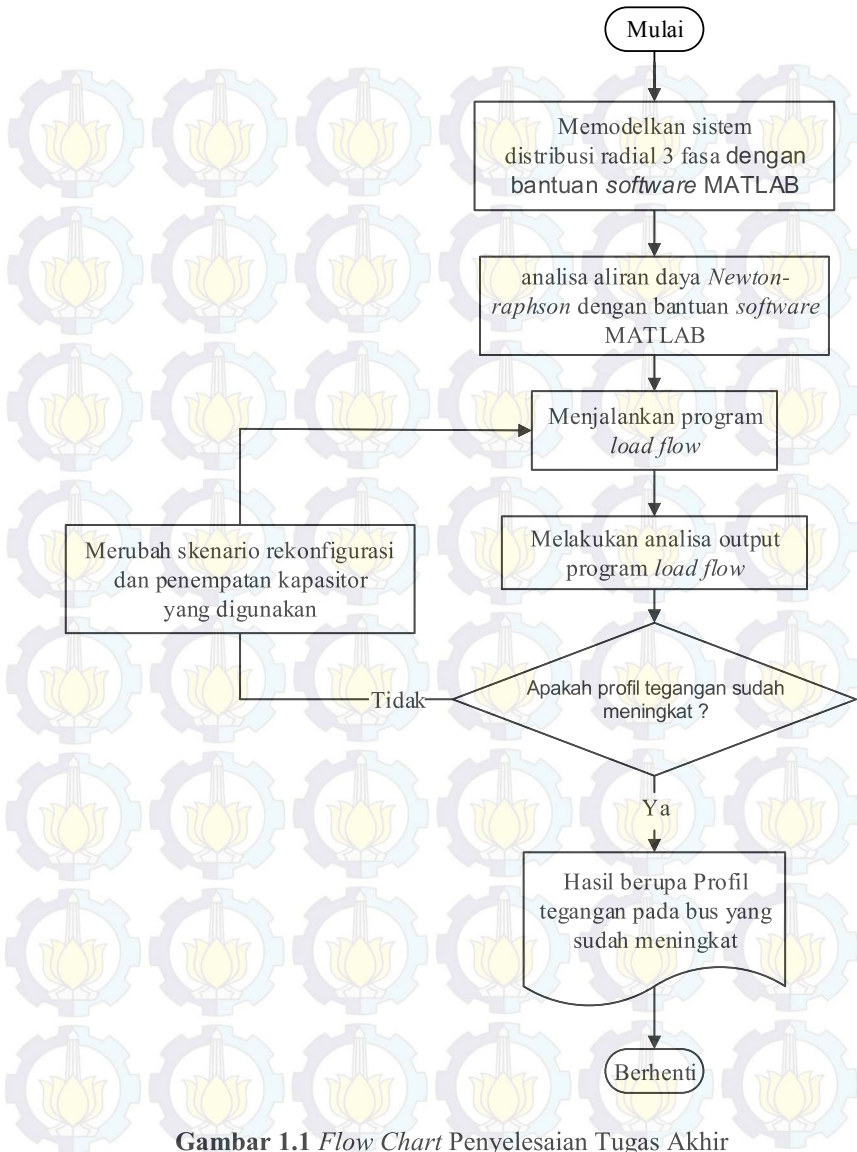
Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan mengumpulkan data berupa *single line diagram*, data beban serta data setiap saluran. Semua data yang didapatkan dituliskan pada script software Matlab.

2. Simulasi dan Analisis Data

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan persamaan aliran arus setiap bus menggunakan formulasi *Newton-Raphson* untuk sistem distribusi. Perhitungan aliran daya dimulai dengan membentuk matrik F dan matrik Y_{bus} sesuai dengan persamaan (3.7) dan (3.15). Langkah selanjutnya adalah membuat *jacobian* matrik dibuat berdasarkan persamaan (3.10) sampai (3.13). Untuk menghitung tegangan bus pertama dihitung matrik $\Delta\delta$ dan ΔV yang merepresentasikan selisih tegangan dan sudut hasil perhitungan dengan tegangan sebenarnya. Hasil perhitungan tersebut ditambah dengan nilai awal (*initial value*), sehingga didapatkan tegangan bus dan sudut tegangan setiap bus yang baru. Proses perhitungan di ulang untuk mendapatkan nilai akurat sesuai dengan batasan iterasi dan toleransi yang ditentukan. Dengan mengacu pada hasil analisa aliran daya tersebut tegangan bus diperbaiki dengan cara melakukan rekonfigurasi jaringan serta menempatkan kapasitor bank. Semua perhitungan dilakukan dengan bantuan software Matlab 2013. Hasil perhitungan yang didapatkan akan dibandingkan dengan simulasi menggunakan software ETAP 12.6 untuk validasi dan pembandingan.

3. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisa data, penarikan kesimpulan dilakukan untuk menjawab permasalahan yang ada.



Gambar 1.1 Flow Chart Penyelesaian Tugas Akhir

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Berisi pembahasan mengenai sistem distribusi tenaga listrik, teori tentang standart *Newton-Raphson* dan teori mengenai rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank.

Bab 3 : Analisis Aliran Daya Pada Sistem Distribusi, Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan kapasitor bank

Bab ini membahas mengenai karakteristik sistem distribusi, analisis aliran daya menggunakan *Newton-raphson* serta sistem IEEE 16 bus modifikasi yang dijadikan objek penelitian.

Bab 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis aliran daya pada sistem distribusi IEEE 16 bus modifikasi dan perbandingannya dengan hasil *software* ETAP. Pada bab ini juga dijelaskan analisa rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor bank dan efeknya terhadap perbaikan profil tegangan.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

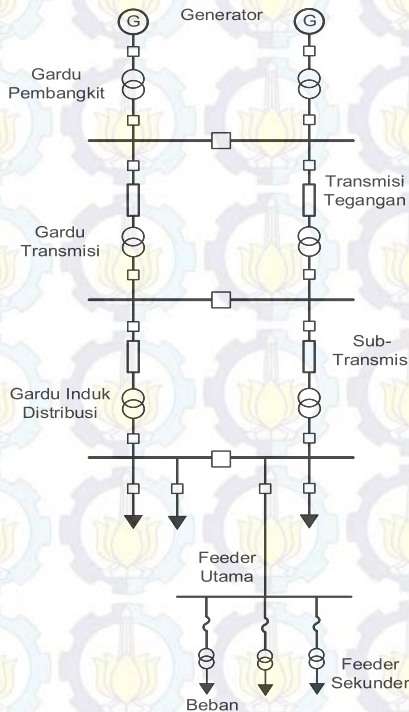
Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi pihak yang berkepentingan seperti operator jaringan distribusi untuk desain dan operasi jaringan. Selain itu tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian tentang perbaikan parameter tegangan sistem distribusi.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik[3]

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan pembangkit dengan tegangan 11-24 kV akan dinaikkan menjadi 70-500 kV untuk transmisi. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi rugi daya pada transmisi. Dari saluran transmisi tegangan akan diturunkan kembali menjadi 20 kV di gardu distribusi kemudian akan di salurkan ke beban menengah atau ke trafo distribusi untuk saluran sekunder.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik Secara Umum

Sistem distribusi digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke pusat-pusat beban. Sistem ini menggunakan saluran udara, kabel udara maupun kabel tanah sesuai dengan kondisi, lingkungan dan keandalan yang diinginkan. Secara umum komponen sistem distribusi adalah sebagai berikut :

a. Gardu Induk

Gardu induk merupakan unit sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Pada gardu induk ini tegangan berasal dari sistem transmisi tegangan tinggi yaitu 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV.

b. Jaringan Subtransmisi

Jaringan Subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari gardu induk menuju gardu-gardu distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan yaitu antara 170-150kV.

c. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan komponen dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari Gardu Induk atau dari jaringan subtransmisi yang kemudian disalurkan pada penyulang primer atau langsung kepada konsumen-konsumen besar yang membutuhkan tegangan menengah 20 kV.

d. Jaringan distribusi Primer

Saluran penyulang utama merupakan rangkaian yang berfungsi menghubungkan gardu distribusi dengan transformator distribusi.

e. Transformator Distribusi.

Transformator Distribusi adalah transformator yang berfungsi untuk mengubah tegangan menengah 20KV menjadi tegangan rendah 220/380V. Kemudian tegangan tersebut disalurkan kepada beban-beban yang beroperasi pada tegangan rendah seperti perumahan atau perkantoran.

f. Jaringan distribusi Sekunder.

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang jaringan distribusi dengan rating tegangan 220/380V.

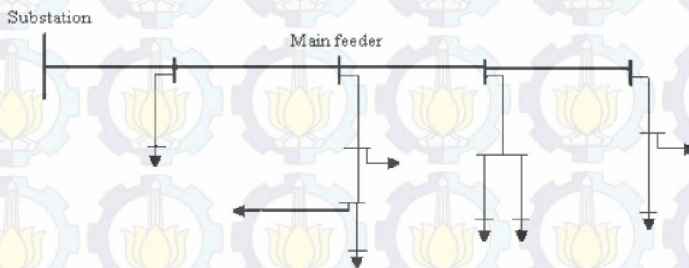
2.2.1 Jaringan Distribusi Radial

Distribusi radial adalah jaringan yang mempunyai karakteristik terdiri dari satu saluran antara titik sumber dengan titik bebannya. Distribusi radial merupakan bentuk sistem distribusi yang paling banyak digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. bentuknya sederhana
- b. membutuhkan biaya investasi yang murah.

Disisi lain jenis distribusi ini punya beberapa kekurangan yaitu:

- c. kualitas daya yang lebih rendah karena mempunyai drop tegangan yang relatif besar
- d. dan tingkat keandalan jaringan yang rendah karena beban hanya di supply hanya dengan satu sumber.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, *sectionalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya yang fungsinya melokalisir gangguan.

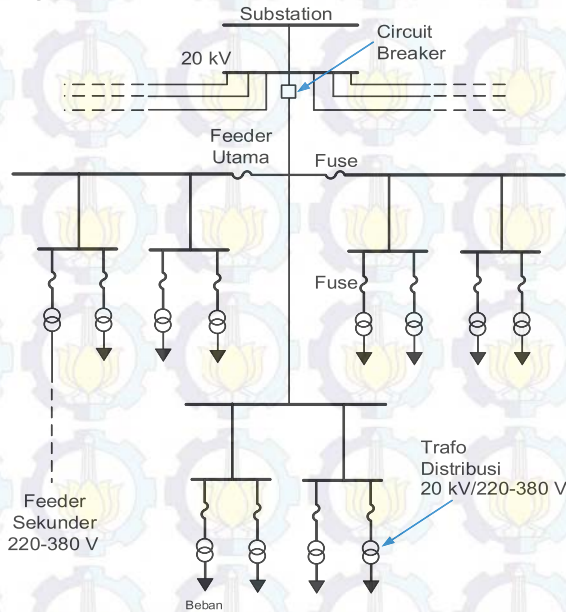
Sitem distribusi radial dapat dibedakan lagi menjadi beberapa tipe jaringan. Berikut ini beberapa modifikasi jaringan distribusi radial: sistem radial pohon, sistem radial dengan *tie-switch* pemisah, sistem radial dengan pembagian fasa area serta sistem radial dengan pusat beban.

2.2.1.1 Jaringan Radial Tipe Pohon

Sistem radial jenis ini dinamakan radial pohon karena dari bentuknya menyerupai cabang pohon. Jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana dari distribusi radial. Saluran utama ditarik

percabangan ke saluran lateral, dari saluran lateral tadi ditarik lagi saluran sublateral yang kemudian tersambung ke beban.

Sesuai dengan beban yang ditanggung saluran, ukuran saluran utama memiliki ukuran terbesar, ukuran saluran lateral akan lebih kecil dari saluran utama sampai saluran sublateral yang mempunyai ukuran saluran paling kecil.

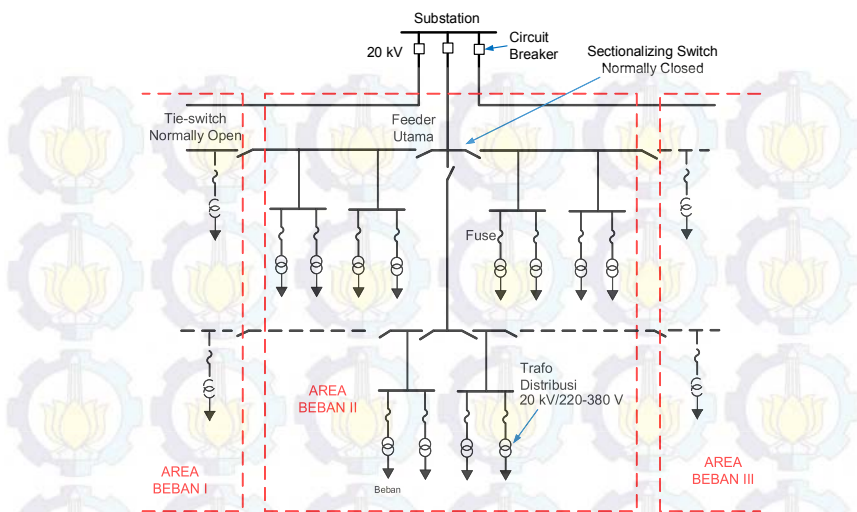


Gambar 2.3 Jaringan Radial Tipe Pohon

2.2.1.2 Jaringan Radial dengan Tie Switch Pemisah

Penggunaan *tie-switch* bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem. Apabila terdapat gangguan pada suatu penyulang maka akan dilakukan manuver dengan menggunakan *tie-switch* untuk memindahkan suplai beban ke penyulang yang lain. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon. Sistem radial dengan *tie switch* pemisah dapat dilihat pada gambar 2.3

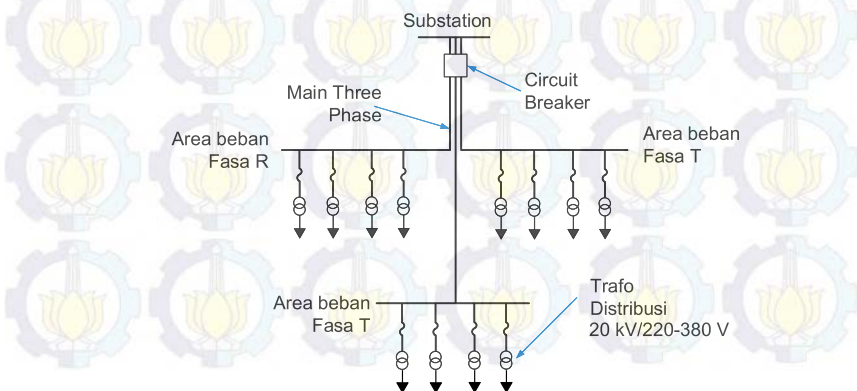
Dengan adanya *tie-switch* dan *sectionalizing switch* pada tiap saluran maka konfigurasi sistem ini juga dapat diubah dengan cara mengubah kombinasi buka dan tutup *switch*.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Radial Dengan *Tie-Switch*

2.2.1.3 Jaringan Radial dengan Pembagian Fasa Area

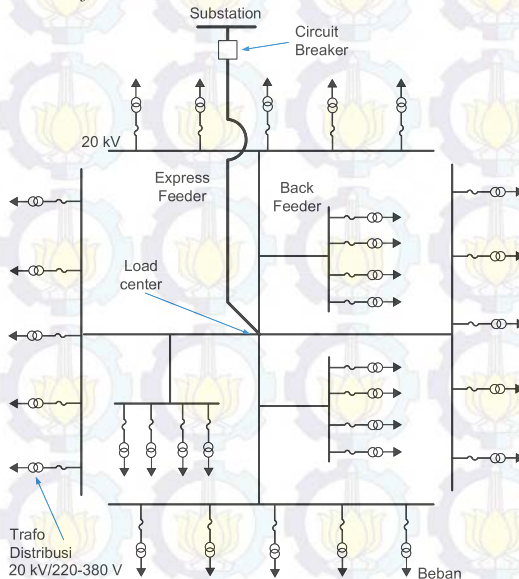
Seperti namanya, jaringan ini mempunyai karakteristik satu fasa hanya melayani satu area tertentu. jaringan jenis ini hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan seimbang pada setiap fasanya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Radial Dengan *Phase Area*

2.2.1.4 Jaringan radial tipe pusat beban

Bentuk jaringan ini mensupply daya dengan menggunakan penyulang utama yang disebut *express feeder* yang langsung tersambung dengan pusat beban. Dari pusat beban tersebut listrik disebarkan menggunakan *back feeder* secara radial



Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Dengan Pusat Beban

2.2 Simulasi Dan Analisis Aliran Daya[4]

Analisis aliran daya sangat penting baik untuk perencanaan sistem yang baru maupun untuk pengembangan sistem di masa mendatang. Dengan menggunakan simulasi dan analisis aliran daya dapat diperoleh informasi mengenai akibat perubahan beban, perubahan pembebanan pembangkit, serta perubahan konfigurasi sistem.

Dengan melakukan perhitungan aliran daya pada sistem tenaga listrik dengan menggunakan program komputer, digunakan rangkaian pengganti komponen-komponen sistem tenaga dan semua besaran di berikan dalam P.U.(per-unit). Metode perhitungan aliran daya yang secara umum adalah metode *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson*, dan *Fast-Decoupled*.

Perhitungan aliran daya dilakukan untuk perencanaan, operasi dan pengendalian operasi sistem tenaga listrik dimana kondisi operasi statis sistem tenaga di ditentukan oleh batasan daya atau tegangan pada bus-bus yang terdapat pada sistem.

Secara umum klasifikasi bus dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Load (P-Q) bus atau bus beban, yaitu bus dimana daya nyata S_i ditentukan
2. Generator (P-V) bus, yaitu bus dimana daya aktif dan tegangan yang tetap.
3. Slack (Swing bus) adalah bus yang harga tegangan dan sudutnya tetap.

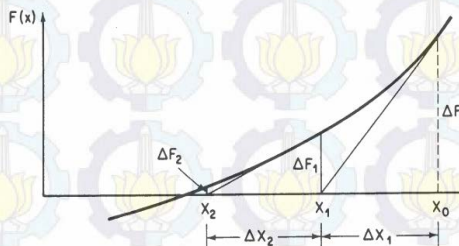
2.2.1 Metode *Newton-Raphson*

Metode *Newton-Raphson* banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linier. Dengan metode ini persamaan non-linier diubah ke dalam bentuk linier dan digunakan untuk menentukan solusi dari persamaan non-linier tersebut. Metode ini diterapkan untuk menentukan satu besaran yang tidak diketahui dalam satu persamaan, atau sistem dengan sejumlah persamaan dengan besaran yang tidak diketahui jumlah persamaan maupun besarannya.

2.2.1.1 Fungsi non-linier

Misalkan $F(x) = 0$ sebagai persamaan non-linier, dimana setiap nilai x yang memenuhi nilai Misalkan $F(x) = 0$ adalah akar dari Misalkan $F(x)$. Untuk mendapatkan akar dari persamaan tersebut diperlukan perkiraan awal untuk x pada sekitar nilai tersebut dengan perkiraan awal yaitu x_0 ,

$$F(x) = \Delta F_0 \quad (2.1)$$



Gambar 2.7 Ilustrasi Metode *Newton-Raphson*

Dimana ΔF_0 adalah kesalahan (error) bila x_0 bukan merupakan akar dari $F(x)$. hal ini ditunjukkan pada gambar 2.5, garis singgung ditarik pada titik di kurva yang sesuai dengan x_0 , dan diproyeksikan sampai memotong sumbu x untuk menentukan perkiraan kedua dari akar dan seterusnya sampai ΔF_0 lebih kecil dari nilai toleransi. dimana bila $y(x) = 0$ diberikan rumus perkiraan nilai akar pada setiap iterasi,

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{F'(x_n)} \quad \text{atau} \quad x_{n+1} = x_n - \Delta x_n \quad (2.2)$$

Berikut adalah contoh 2.1 aplikasi perhitungan *Newton-Raphson* :

$$F(x) = x^3 - 64$$

$$F'(x) = 3x^2$$

selanjutnya digunakan perkiraan awal
 $x_0 = 5$

proses iterasi berjalan sesuai persamaan (2.2) sehingga menghasilkan :

$$\Delta x_n = \frac{F(x_n)}{F'(x_n)}$$

$$\Delta x_n = \frac{x^3 - 64}{3x^2}$$

pada iterasi pertama diperoleh

$$\Delta x_1 = \frac{125 - 64}{75} = 0,8133$$

maka

$$x_1 = 5 - 0,8133 = 4,1867$$

untuk iterasi kedua,

$$\Delta x_2 = \frac{(4,1867)^2 - 64}{3(4,1867)^2} = 0,1785 \text{ dan}$$

$$x_2 = 4,1867 - 0,1785 = 4,0082$$

Proses ini dilakukan sampai akurasi yang diinginkan tercapai. untuk mencari solusi masalah yang terdiri dari lebih dari satu persamaan metode newton raphson juga dapat digunakan. misalkan diketahui dua persamaan non-linier F_1, F_2 maka

$$F_1(x_1, x_2)=0, F_2(x_1, x_2)=0 \quad (2.3)$$

matriks jacobian untuk 2x2 persamaan adalah

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Hubungan linier untuk perubahan kecil ($\Delta x_1, \Delta x_2$) diberikan pada persamaan (2.5)

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{pmatrix}^k \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(k+1)} \\ \Delta x_2^{(k+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta F_1^{(k)} \\ \Delta F_2^{(k)} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Persamaan ini kemudian diselesaikan secara langsung untuk koreksi pertama. koreksi tersebut kemudian di tambahkan ke variabel pada iterasi awal (nol) untuk memperoleh nilai variabel pada iterasi pertama

$$\begin{pmatrix} x_1^{(k+1)} \\ x_2^{(k+1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1^{(k)} \\ x_2^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(k+1)} \\ \Delta x_2^{(k+1)} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

berikut ini contoh 2.2 aplikasi metode *Newton-Raphson* untuk perhitungan persamaan 2x2 menggunakan metode *Newton-Raphson* :

$$F_1 = x_1^2 + x_2^2 - 5x_1 = 0$$

$$F_2 = x_1^2 + x_2^2 - 1,5x_1 = 0$$

Penyelesaian.

turunan parsial dari persamaan diatas adalah

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = 2x_1 - 5$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_2} = 2x_1$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = 2x_1$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = -2x_1 - 1,5$$

dengan menggunakan perkiraan awal,

$$x_1^{(0)} = 3 \quad \text{dan} \quad x_2^{(0)} = 3$$

hasilnya adalah

$$F_1^0 = (3)^2 + (3)^2 - 5(3) = 3$$

$$F_2^0 = (3)^2 - (3)^2 - 1,5(3) = 4,5$$

elemen matriks jacobian adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial F_1^0}{\partial x_1} = 2(3) - 5 = 1$$

$$\frac{\partial F_1^0}{\partial x_2} = 2(3) = 1$$

$$\frac{\partial F_2^0}{\partial x_1} = 2(3) = 6$$

$$\frac{\partial F_2^0}{\partial x_2} = (-2)(3) + 1,5 = -4,5$$

maka,

$$\begin{pmatrix} 1 & 6 \\ 6 & -4,5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 \\ -4,5 \end{pmatrix}$$

penyelesaiannya adalah

$$\Delta x_1^{(0)} = -1$$

$$\Delta x_2^{(0)} = -0,333$$

dengan demikian hasil pada iterasi pertama adalah

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(1)} = 3 - 1 = 2$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(1)} = 3 - 0,333 = 2,667$$

prosedur di atas diulangi

$$F_1^{(1)} = (2)^2 + (2,667)^2 - 5(3) = 1,1129$$

$$F_2^{(1)} = (2)^2 - (2,667)^2 - 1,5(2,667) = 0,8876$$

elemen matriks jacobian adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial F_1^{(1)}}{\partial x_1} = 2(2) - 5 = -1 \quad \frac{\partial F_1^{(1)}}{\partial x_2} = 2(2,667) = 6$$

$$\frac{\partial F_2^{(1)}}{\partial x_1} = 2(2) = 4 \quad \frac{\partial F_2^{(1)}}{\partial x_2} = -2(2,667) = -6$$

kemudian,

$$\begin{pmatrix} -1 & 5,334 \\ 4 & -3,834 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(1)} \\ \Delta x_2^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1,1129 \\ -0,8876 \end{pmatrix}$$

dengan mengulangi prosedur diatas berikut ini adalah hasil pada setiap iterasi sampai dengan iterasi ke 8 :

Tabel 2.1 Hasil iterasi contoh 2.2

iterasi	x_1	x_2
3	1,223900	2,17380
4	1,093500	2,07330
5	1,031600	2,02480
6	1,000650	2,00510
7	1,004000	2,00030
8	1,00000189	2,00000149

2.2.2 Penyelesaian Aliran Daya dengan Metode *Newton-Raphson*

Untuk menyelesaikan aliran daya menggunakan persamaan aliran daya untuk mendapatkan tegangan setiap bus. Persamaan aliran daya yang dimaksud adalah :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.7)$$

Dengan memisahkan bagian real dan imajiner persamaan diatas didapatkan:

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.7)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Persamaan diatas merupakan fungsi $|V|$ dan δ pada tiap-tiap bus. Persamaan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung $|V|$ dan δ tiap bus. Cara umum metode analisa aliran daya *Newton-Raphson* ditulis sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} H & N \\ J & L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Dimana elemen matrik H :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Elemen matrik N:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V|_j} = |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

elemen matrik J :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Elemen matrik L:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_i} = -2|V_i||Y_{ii}|\sin\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_j} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Nilai mismatch dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta P_i^{(k)} = P^{sch} - \Delta P_i^{(k)}$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q^{sch} - \Delta Q_i^{(k)}$$

akar akar persamaan diperoleh dari operasi perkalian secara matriks. dengan akar akarnya adalah:

$$\begin{aligned} \delta_i^{(k+1)} &= \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \\ |V|_i^{(k+1)} &= |V|_i^{(k)} + \Delta |V|_i^{(k)} \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.3 Kapasitor Bank[5]

Kapasitor merupakan komponen kompensator yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya (*Ploss*) dan drop tegangan (*Vdrop*) pada jaringan. Fungsi lain dari kapasitor bank adalah untuk mengkompensasi daya reaktif yang sekaligus menjaga kualitas tegangan dan juga untuk meningkatkan efisiensi pada sistem dan umumnya pemakaian bank kapasitor memberikan keuntungan antara lain:

Kapasitor paralel dan reaktor paralel berguna untuk :

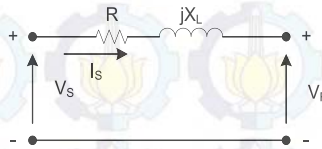
- Mengkompensasi kebutuhan daya reaktif
- Menaikkan atau menurunkan tegangan
- Mengurangi rugi-rugi distribusi
- Memperbaiki faktor daya
- Memaksimalkan kapasitas sistem

Kapasitor dipasang pada jaringan dengan tujuan untuk perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan drop tegangan pada jaringan.

2.3.1 Pengaruh Pemasangan Kapasitor Terhadap Tegangan

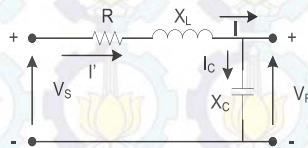
Pada umumnya jaringan distribusi akan menyerap daya reaktif karena karakteristik beban-beban yang ada. Kondisi sistem distribusi tanpa kapasitor dapat dilihat pada gambar 2.8. Gambar tersebut

memperlihatkan kondisi suatu konduktor sebelum pemasangan kapasitor.

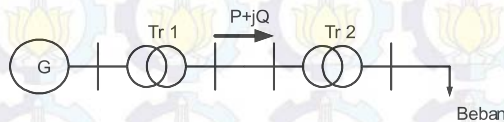


Gambar 2.8 Rangkaian Konduktor Sebelum Pemasangan Kapasitor

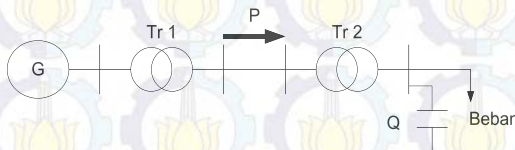
Sedangkan pada Gambar 2.9 dibawah diperlihatkan suatu sistem yang diberi kompensasi daya reaktif berupa kapasitor. Pemasangan kapasitor membuat kenaikan pada tegangan disisi terima (V_R) jika tegangan pengirim (V_s) dipertahankan konstan.



Gambar 2.9 Rangkaian Konduktor Setelah Pemasangan Kapasitor



Gambar 2.10 Aliran Daya Tanpa Kompensasi

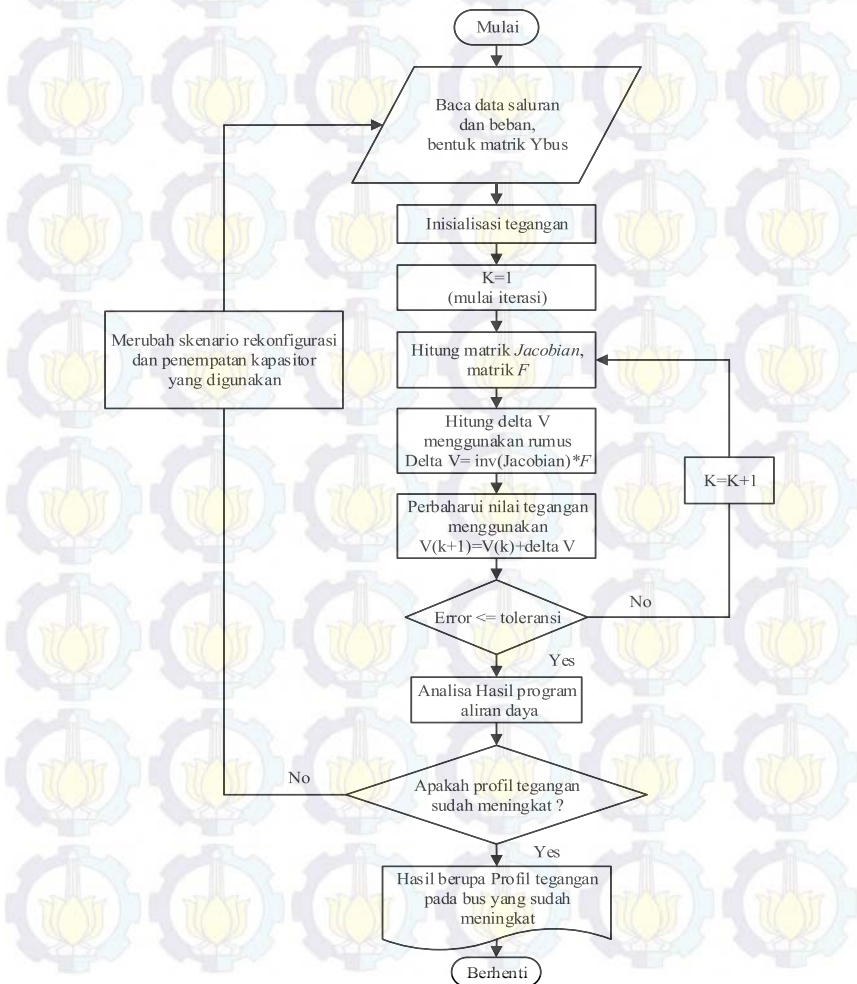


Gambar 2.11 Aliran Daya Dengan Kompensasi

Daya reaktif bisa dibangkitkan oleh kapasitor dan penggunaan kapasitor bank sebagai suplai daya reaktif pada sistem tenaga listrik adalah solusi terbaik untuk memproduksi daya reaktif, karena biaya awal dan pemeliharannya tidak mahal.

BAB III

ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM DISTRIBUSI METODE *NEWTON-RAPHSON*, REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK



Gambar 3.1 *Flow Chart* Penyelesaian Analisa Aliran Daya

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dari analisa aliran daya, rekonfigurasi jaringan dan lokasi pemasangan kapasitor bank. Tahapan pengerjaan tugas akhir ini dijelaskan melalui *flowchart* diatas.

3.1 Studi Aliran Daya Metode *Newton-Raphson* Pada Sistem Distribusi Radial

Metode *Newton-Raphson* adalah metode yang handal digunakan untuk menghitung analisa aliran daya, selain itu metode tersebut juga mempunyai sejarah panjang dan digunakan secara luas untuk diterapkan pada *software* komersial. Metode *Newton-Raphson* juga sangat efisien dan sudah digunakan sebagai standart perhitungan analisa aliran daya pada banyak literatur.

Analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* digunakan untuk menentukan tegangan bus melalui persamaan *mismatch* daya, namun untuk elternatif *Newton-Raphson* pada tugas akhir ini menggunakan persamaan *mismatch* arus[6].

Bila sebuah sistem mempunyai jumlah bus sebanyak- n maka di asumsikan bus $ke-1$ merupakan slack bus dimana tegangan dan sudutnya tetap. Persamaan aliran arus setiap bus dapat di representasikan dengan persamaan berikut.

$$(I_{gen,k} - I_{dem,k}) - \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i = 0 \quad (3.1)$$

$I_{gen,k}$ merupakan arus generator yang mengalir di bus $ke-k$ sedangkan $I_{dem,k}$ merupakan arus akibat beban. Pada kondisi praktis beban di sistem tenaga listrik merupakan persamaan daya. Oleh karena itu dapat dituliskan persamaan baru dengan mensubstitusi persamaan (3.2) ke persamaan (3.1) sehingga persamaan aliran daya menjadi persamaan (3.3) yang dituliskan sebagai berikut.

$$I_k = \frac{S_k^*}{V_k} \quad (3.2)$$

$$I_k = \left(\frac{S_{sch,k} - S_{dem,k}}{V_k} \right)^* - \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i \quad (3.3)$$

Dalam persamaan tersebut tegangan, daya di bus $ke-k$, serta admitansi dari bus- k ke bus- i di didefinisikan dengan.

$$|V_k| \angle \delta_k$$

$$Y_{ki} \angle \theta_{ki} \\ S_{gen,k} - S_{dem,k} = S_{sch,k} = S_k \angle \varphi_k \quad (3.4)$$

Persamaan (3.4) di jika disubstitusikan ke persamaan (3.3) akan menjadi.

$$I_k = \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \angle (-\varphi_k + \delta_k) - \sum_{i=1}^n |Y_{ki} V_i| \angle (-\varphi_{ki} + \delta_i) \quad (3.5)$$

Pada persamaan (3.5) merupakan persamaan arus masih berupa bentuk kompleks.

$$I_k = G_k + jH_k \quad (3.6)$$

Persamaan (3.5) dapat diuraikan menjadi persamaan arus real dan imajinernya sehingga menjadi.

$$G_k = \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \cos \angle (-\varphi_k + \delta_k) - \sum_{i=1}^n |Y_{ki} V_i| \cos \angle (-\varphi_{ki} + \delta_i) \\ H_k = \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \sin \angle (-\varphi_k + \delta_k) - \sum_{i=1}^n |Y_{ki} V_i| \sin \angle (-\varphi_{ki} + \delta_i) \quad (3.7)$$

Keterangan :

G_k = arus aktif yang mengalir pada bus ke- k

H_k = arus reaktif yang mengalir pada bus ke- k

V_k = tegangan pada bus ke- k

I_k = arus pada bus ke- k

V_i = tegangan pada bus- i

Y_{ki} = admitansi saluran dari bus- k ke bus- i

δ_k = sudut fasa tegangan kompleks pada bus- k

φ_k = sudut fasa daya kompleks pada bus- k

θ_{ki} = sudut fasa admitansi saluran dari bus- k ke bus- i

Persamaan (3.5) merupakan persamaan *mismatch* arus pada bus- k . nilai *mismatch* akan bernilai nol bila semua tegangan pada bus telah ditemukan. Untuk mencari tegangan setiap bus maka kedua persamaan diatas harus di formulasikan menjadi deret taylor sehingga menjadi :

$$G_k = \sum_{i=1}^n \frac{\partial G_k}{\partial \delta_k} \Delta \delta_i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial G_k}{\partial V_k} \Delta V_i \quad (3.8)$$

dari persamaan deret taylor ini, formula untuk menentukan sudut dan magnitude tegangan dapat di ekspresikan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} G \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial \delta} & \frac{\partial G}{\partial |V|} \\ \frac{\partial H}{\partial \delta} & \frac{\partial H}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Elemen matriks jacobian persamaan (3.8) dapat diturunkan seperti metode *Newton-Raphson* biasa, penurunan elemen matriks tersebut dijelaskan pada persamaan (3.10) sampai (3.13)

Submatriks J1 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_k}{\partial \delta_i} &= -|V_i Y_{ki}| \sin(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i \\ \frac{\partial G_k}{\partial \delta_k} &= -|V_i Y_{kk}| \sin(\theta_{kk} + \delta_k) + \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \sin(-\varphi_k + \delta_k) \end{aligned} \quad (3.10)$$

Submatriks J2 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_k}{\partial |V_k|} &= -|V_i Y_{ki}| \sin(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i \\ \frac{\partial G_k}{\partial |V_k|} &= -|V_k Y_{kk}| \sin(\theta_{kk} + \delta_k) + \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \sin(-\varphi_k + \delta_k) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Submatriks J3 :

$$\frac{\partial H_k}{\partial \delta_i} = |V_i Y_{ki}| \cos(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i$$

$$\frac{\partial H_k}{\partial \delta_k} = \left| V_i Y_{kk} \right| \cos(\theta_{kk} + \delta_k) - \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \cos(-\phi_k + \delta_k) \quad (3.12)$$

Submatriks J4 :

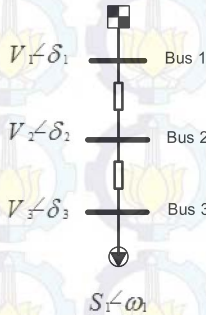
$$\begin{aligned} \frac{\partial G_k}{\partial |V_k|} &= \left| V_i Y_{ki} \right| \cos(\theta_{ki} + \delta_i) \text{ untuk } k \neq i \\ \frac{\partial H_k}{\partial |V_k|} &= \left| V_k Y_{kk} \right| \cos(\theta_{kk} + \delta_k) + \left| \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right| \cos(-\phi_k + \delta_k) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Persamaan aliran daya tersebut diselesaikan dengan menggunakan suatu proses pengulangan (iterasi) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan pada bus yang tidak diketahui nilainya dan kemudian menghitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari nilai perkiraan pada bus yang lain.

Setiap perhitungan suatu himpunan nilai tegangan yang baru disebut sebagai satu iterasi. Proses iterasi ini diulang terus-menerus hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari nilai minimum atau tidak melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan.

Salah satu contoh sederhana penyelesaian persamaan aliran daya dengan metode *Newton-Raphson* adalah sebagai berikut.

Contoh 3.1 :



Gambar 3.2 Single Line Diagram Contoh 3.1

Tabel 3.1 Data saluran dan beban contoh 3.1

bus	bus	R(ohm)	X(ohm)	P(MW)	Q(Mvar)
1	2	0,39675	0,5920	2	1,6
2	3	0,42320	0,5819	3	1,5
KVbase				20 kV	
MVAbase				100 MVA	

Sebelum menghitung, semua data harus dikonversi menjadi satuan per-unit (p.u.) dengan rumus sebagai berikut.

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{Actual}(ohm)}{Z_{Base}(ohm)} \quad \text{dan} \quad S_{p.u} = \frac{S_{Actual}(VA)}{S_{Base}(VA)} \quad (3.14)$$

$$KV_{p.u} = \frac{KV_{Actual}(KV)}{KV_{Base}(KV)}$$

Pada perhitungan juga ditetapkan nilai awal tegangan dan sudutnya sebesar 1∠0 p.u.

Gambar 3.3 merepresentasikan sebuah sistem distribusi sederhana yang berbentuk radial dan disuplai dari satu sumber. Untuk mempermudah perhitungan maka dihitung terlebih dahulu matriks Y_{bus} berdasarkan gambar 3.3 dan tabel 3.1 sehingga menghasilkan matrik Y_{bus} sebagai berikut.

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

Persamaan matrik Y_{bus} terdiri dari dua komponen, yaitu elemen matriks *on-diagonal* dan elemen matriks *off-diagonal*. Elemen *on-diagonal* matriks Y_{bus} adalah penjumlahan admitansi yang tersambung pada bus tersebut, pada contoh ini nilai elemen *on-diagonal* adalah sebagai berikut.

$$Y_{11} = y_{12}$$

$$Y_{22} = y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{33} = y_{13}$$

Sedangkan elemen *off-diagonal* matriks adalah negatif admitansi saluran yang tersambung pada bus tersebut, nilainya sebagai berikut :

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}$$

Semua elemen matrik disusun sesuai persamaan (3.15) yang dituliskan sebelumnya. sehingga menghasilkan matrik sebagai berikut :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} 3,629 - j4,839 & -3,629 + j4,839 & 0 \\ -3,629 + j4,839 & 6,899 - j9,335 & -3,269 + j4,495 \\ 0 & -3,269 + j4,495 & 3,269 - j4,495 \end{bmatrix}$$

atau dalam bentuk polar

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} 6,049 \angle -0,927 & 6,049 \angle 2,214 & 0 \\ 6,049 \angle 2,214 & 11,608 \angle -0,934 & 5,559 \angle 2,199 \\ 0 & 5,559 \angle 2,199 & 5,59 \angle -0,942 \end{bmatrix}$$

Matrik Y_{bus} ini selanjutnya digunakan untuk menghitung elemen matriks *jacobian* maupun matriks F . Langkah selanjutnya adalah menghitung matriks Setelah menghitung matriks, langkah selanjutnya adalah menghitung matrik F dengan persamaan (3.7) sehingga didapatkan nilai berikut.

$$G_2 = \left| \frac{S_2}{V_2} \right| \cos \angle(-\varphi_2 + \delta_2) - (|Y_{21}V_1| \cos \angle(-\theta_{21} + \delta_1) + |Y_{22}V_2| \cos \angle(-\theta_{22} + \delta_2) \\ + |Y_{23}V_3| \cos \angle(-\theta_{23} + \delta_3)) = -0,02$$

$$G_3 = \left| \frac{S_3}{V_3} \right| \cos \angle(-\varphi_3 + \delta_3) - (|Y_{31}V_1| \cos \angle(-\theta_{31} + \delta_1) + |Y_{32}V_2| \cos \angle(-\theta_{32} + \delta_2) \\ + |Y_{33}V_3| \cos \angle(-\theta_{33} + \delta_3)) = -0,03$$

Kemudian dihitung nilai H sebagai berikut :

$$H_2 = \left| \frac{S_2}{V_2} \right| \sin \angle(-\varphi_2 + \delta_2) - (|Y_{21}V_1| \sin \angle(-\theta_{21} + \delta_1) + |Y_{22}V_2| \sin \angle(-\theta_{22} + \delta_2) \\ + |Y_{23}V_3| \sin \angle(-\theta_{23} + \delta_3)) = 0,01599$$

$$H_3 = \left| \frac{S_3}{V_3} \right| \sin \angle(-\varphi_3 + \delta_3) - (|Y_{31}V_1| \sin \angle(-\theta_{31} + \delta_1) + |Y_{32}V_2| \sin \angle(-\theta_{32} + \delta_2) + |Y_{33}V_3| \sin \angle(-\theta_{33} + \delta_3)) = 0,1499$$

Setelah semua elemen matriks F didapatkan, untuk menentukan persamaan tegangan setiap bus masih diperlukan matriks *jacobian*. Matriks *jacobian* dihitung menggunakan persamaan (3.10) sampai (3.13).

$$J1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial G_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial G_1}{\partial \delta_3} & \frac{\partial G_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial G_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_1|} \\ \frac{\partial G_1}{\partial |V_2|} & \frac{\partial G_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial G_1}{\partial |V_3|} & \frac{\partial G_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix},$$

$$J3 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial H_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial H_1}{\partial \delta_3} & \frac{\partial H_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J4 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial H_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_1|} \\ \frac{\partial H_1}{\partial |V_2|} & \frac{\partial H_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial H_1}{\partial |V_3|} & \frac{\partial H_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix}$$

Setiap elemen matriks jacobian yang merupakan fungsi penurunan terhadap magnitude dan sudut tegangan *slack bus* (bus 1) dihapus, karena *slack bus* mempunyai tegangan dan sudut yang tetap yaitu sebesar $1 \angle 0$. Setelah dilakukan eliminasi baris dan kolom pada setiap elemen matriks maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$J1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial G_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial G_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial G_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial G_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial G_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix}$$

$$J1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial H_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial H_3}{\partial \delta_3} \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_2|} \\ \frac{\partial H_2}{\partial |V_3|} & \frac{\partial H_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix}$$

Setelah dihitung elemen matriks J1, J2, J3 dan J4 akan bernilai

$$J1 = \begin{bmatrix} 9,351 & -4,495 \\ -4,495 & 4,510 \end{bmatrix}, J2 = \begin{bmatrix} 6,879 & -3,269 \\ -3,269 & 3,239 \end{bmatrix}$$

$$J3 = \begin{bmatrix} 6,919 & -3,269 \\ -3,269 & -3,299 \end{bmatrix}, J4 = \begin{bmatrix} -9,319 & 4,495 \\ 4,495 & -4,480 \end{bmatrix}$$

Setelah semua komponen untuk menghitung tegangan sudah di dapatkan maka langkah selanjutnya adalah membentuk operasi matrik sesuai dengan persamaan (3.7)

$$\begin{bmatrix} -0,0200 \\ -0,0300 \\ 0,0159 \\ 0,0149 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9,351 & -4,495 & 6,879 & -3,269 \\ -4,495 & 4,510 & -3,269 & 3,239 \\ 6,919 & -3,269 & -9,139 & 4,495 \\ -3,269 & 3,299 & 4,495 & -4,480 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta |V_2| \\ \Delta |V_3| \end{bmatrix}$$

Untuk menentukan tegangan sampai kondisi toleransi tertentu maka jacobian matriks dihitung menggunakan perkiraan awal. Update nilai untuk iterasi pertama sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta |V_2| \\ \Delta |V_3| \end{bmatrix}^0 = \begin{bmatrix} 9,351 & -4,495 & 6,879 & -3,269 \\ -4,495 & 4,510 & -3,269 & 3,239 \\ 6,919 & -3,269 & -9,19 & 4,495 \\ -3,269 & 3,299 & 4,495 & -4,480 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -0,0200 \\ -0,0300 \\ 0,0159 \\ 0,0149 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai .

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^0 = \begin{bmatrix} -0,0035378 \\ -0,0063219 \\ -0,0091888 \\ -0,0146409 \end{bmatrix}^0 \rightarrow \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^0 + \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^0$$

Berdasarkan perhitungan pada persamaan diatas didapatkan nilai iterasi tegangan pada iterasi pertama yaitu.

$$\begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,0035378 \\ -0,0063219 \\ -0,0091888 \\ -0,0146409 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,00353785rad \\ -0,0063219rad \\ 0,9908111p.u \\ 0,9853590p.u \end{bmatrix}$$

Untuk iterasi kedua, persamaan diselesaikan dengan semua variabel yang digunakan diperoleh dari iterasi pertama.

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} 9,289 & -4,450 & 6,845 & -3,241 \\ -4,466 & 4,465 & -3,253 & 3,210 \\ 6,823 & -3,193 & -9,343 & 4,516 \\ -3,223 & 3,224 & 4,507 & -4,500 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,0000901 \\ -0,000230 \\ 0,0001110 \\ -0,0002513 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} -0,00001706 \\ -0,00009266 \\ 0,000004586 \\ 0,000017065 \end{bmatrix}^1 \rightarrow \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^1 + \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{bmatrix}^1$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai pada iterasi kedua yaitu.

$$\begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ |V_2| \\ |V_3| \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} -0,00353785rad \\ -0,0063219rad \\ 0,9908111p.u \\ 0,9853590p.u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,00001706 \\ -0,00009266 \\ 0,000004586 \\ 0,000017065 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0035699rad \\ -0,00641457rad \\ 0,99908157p.u \\ 0,98537613p.u \end{bmatrix}$$

dengan mengulangi prosedur diatas berikut ini adalah hasil perhitungan magnitude dan sudut tegangan pada setiap iterasi 1 sampai dengan iterasi ke-2 dengan ketelitian 10^{-3} dan mismatch 0,000251. Dengan

mengembalikan nilai p.u ke nilai sebenarnya dengan persamaan (3.14) maka didapatkan nilai pada tabel 3.2

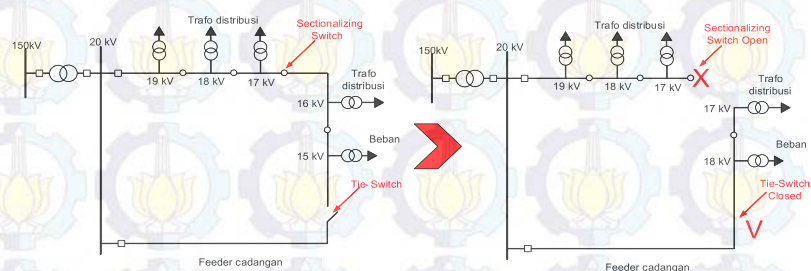
Tabel 3.2 Hasil analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* contoh 3.1

Bus ke-	Tegangan Ke- (kV)	Sudut (Derajat)
1	20	0
2	19,81631	-0,204544
3	19,70752	-0,36752

3.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Sistem distribusi secara umum merupakan distribusi radial karena biaya dan proteksi yang sederhana, namun pada distribusi primer pada umumnya terdapat tie dan sectionalizing *switch* yang dapat digunakan untuk manuver agar keandalan dan fleksibilitas operasi meningkat. Secara umum pada jaringan distribusi primer terdapat switch *normally closed* yaitu *sectionalizing-switch* dan switch yang beroperasi *normally open* yaitu *tie-switch*. Kedua tipe switch tersebut digunakan untuk menanggulangi kondisi darurat dan proteksi serta untuk perawatan jaringan.

Pada kondisi normal konfigurasi jaringan diubah dengan tujuan untuk menurunkan rugi jaringan, maupun memperbaiki tegangan[3]. Konfigurasi sistem dapat diubah dengan melakukan operasi buka-tutup switch pada jaringan distribusi primer.

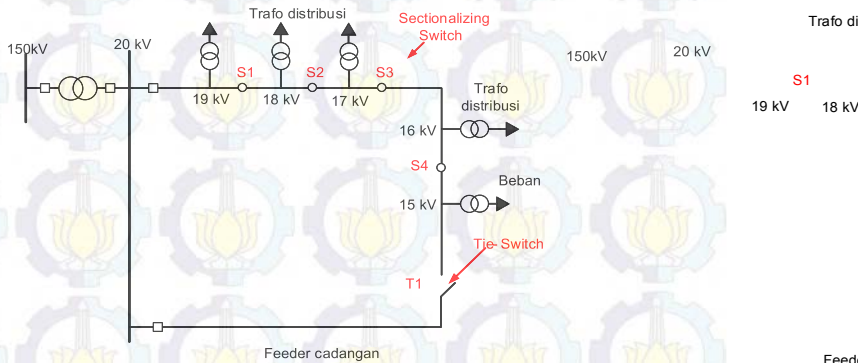


Gambar 3.3 Ilustrasi rekonfigurasi pada jaringan distribusi

Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat digunakan untuk menurunkan rugi-rugi daya dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan

konsumen dapat dilayani dengan baik. Pada tugas akhir ini rekonfigurasi dilakukan pada sistem yang telah terpasang dengan kombinasi switch yang ada agar rekonfigurasi jaringan menghasilkan drop tegangan yang nilai signifikan.

Ilustrasi kombinasi buka dan tutup switch pada jaringan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Tie dan sectionalizing switch pada jaringan distribusi

Pada gambar 3 terdapat 4 sectionalizing switch dan tie-switch yang dapat digunakan. Dengan jumlah switch tersebut maka kemungkinan yang bisa dilakukan adalah :

Tabel 3.3 jumlah kombinasi konfigurasi baru yang mungkin terjadi pada jaringan sederhana pada gambar 3.3

No kombinasi	Switch open	Switch Closed
1	S1	T1
2	S2	T1
3	S3	T1
4	S4	T1

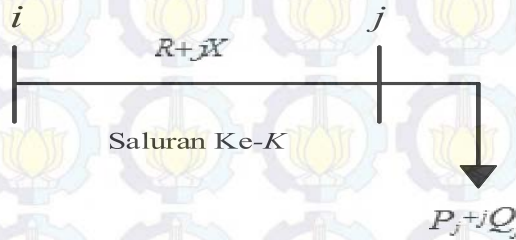
Dari kemungkinan tersebut nantinya dipilih kombinasi baru yang menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih baik. Konfigurasi baru dari kombinasi yang dipilih selanjutnya akan digunakan untuk menentukan pada bus mana kapasitor bank akan dipasang.

3.3 Loss Sensity Factor (LSF) untuk penempatan kapasitor Bank

Kapasitor secara umum digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif, mengurangi rugi daya dan mengatur profil tegangan. Langkah dalam pemasangan kapasitor bank pada sistem distribusi radial adalah menentukan nilai kapasitor kemudian menentukan dibus manakah kapasitor tersebut harus dipasang.

Pada kondisi kapasitas kapasitor bank yang tersedia tidak memiliki banyak variasi, sehingga secara teori dan praktek di lapangan, kapasitas kapasitor yang dipasang pada sistem sedikit berbeda. Oleh karena itu dengan mempertimbangkan kapasitas yang tersedia di lapangan nilai kapasitor yang digunakan sudah ditentukan berdasarkan literatur yang sudah ada [7].

Untuk menentukan kandidat bus yang akan dipasang kapasitor. Digunakan sebuah metode yang bernama *Loss Sensitivity Factor* (LSF). Metode ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan faktor sensitifitas rugi-rugi yang di ilustrasikan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Saluran distribusi dengan impedansi dan beban

Berdasarkan gambar 3.5 rugi-rugi daya aktif I^2R pada saluran ke-K dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P_{loss,j} = \frac{P_j^2 + Q_j^2 \times R_{ij}}{V_j^2} \quad (3.16)$$

Faktor sensitifitas rugi-rugi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{\partial P_{loss,j}}{\partial Q_j} = \frac{2 \times Q_j \times R_{ij}}{V_j^2} \quad (3.17)$$

Dari persamaan (3.18) didapatkan rumus LSF sebagai berikut

$$LSF_j = \frac{2 \times Q_j \times R_{ij}}{V_j^2} \quad (3.18)$$

Rugi pada bus yang mempunyai indeks LSF yang besar akan menyebabkan drop tegangan yang besar sehingga lokasi penempatan kapasitor nantinya akan dipilih pada bus yang mempunyai indeks LSF besar.

Semua indeks LSF pada sistem akan dihitung menggunakan persamaan (3.18), kemudian di implementasikan pada IEEE 14 bus modifikasi. Selain mempertimbangkan nilai LSF bus, parameter untuk menentukan lokasi kapasitor adalah indeks normalisasi

Dengan persamaan berikut:

$$norm_j = \frac{V_j}{0,95} \quad (3.19)$$

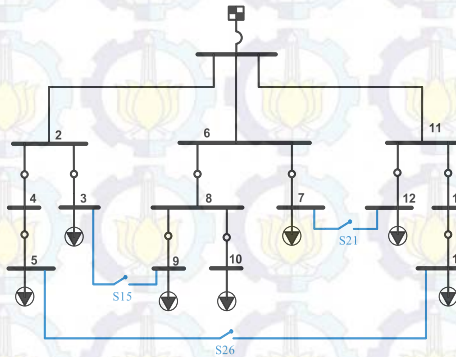
Ketika suatu bus pada sistem, mempunyai indeks LSF dan normalisasi yang jelek maka kandidat bus tersebut akan digunakan sebagai lokasi pemasangan kapasitor bank.



Gambar 3.6 Flow chart penentuan lokasi kapasitor bank

3.4 Sistem Distribusi IEEE 16 Bus Modifikasi

Untuk mencoba keberhasilan metode maka metode akan diterapkan pada sistem standart yaitu IEEE 16 bus yang di modifikasi . Berikut ini data saluran maupun beban yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 3.7 Single line diagram sistem IEEE 16 bus modifikasi

Tabel 3.4 Data saluran IEEE 16 bus modifikasi

Switch	Saluran		Impedansi	
	Bus	Bus	R(ohm)	X(ohm)
	1	2	0,39675	0,529
S12	2	3	0,4232	0,5819
S13	2	4	0,4761	0,9522
S14	4	5	0,2116	0,2116
	1	6	0,5819	0,5819
S17	6	7	0,5819	0,5819
S18	6	8	0,4232	0,5819
S19	8	9	0,5819	0,5819
S20	8	10	0,4232	0,5819
	1	11	0,5819	0,5819
S24	11	12	0,4761	0,6348
S23	11	13	0,4232	0,5819
S25	13	14	0,2116	0,2116
S15	3	9	0,4761	0,9522
S21	7	12	0,2116	0,2116
S26	5	14	0,4761	0,2116

Tabel 3.5 Data beban IEEE 16 bus modifikasi

No Bus	Daya Beban	
	P(MW)	Q(MVar)
1	0	0
2	2	1,6
3	3	1,5
4	2	0,8
5	1,5	1,2
6	4	2,7
6	1	0,9
8	5	3
9	0,6	0,1
10	4,5	3,5
11	1	0,9
12	1	0,7
13	1	0,9

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab 4 ini, akan dibahas mengenai simulasi dan analisis metode *Newton-Raphson* pada sistem distribusi radial IEEE 16 bus modifikasi. Langkah pertama untuk pengujian metode adalah simulasi pada konfigurasi awal IEEE 16 bus modifikasi, Selanjutnya adalah melakukan perbaikan tegangan dengan rekonfigurasi jaringan maupun menempatkan kapasitor bank pada sistem.

Untuk mengetahui efek rekonfigurasi jaringan dan kapasitor bank pada sistem maka di lakukan uji coba simulasi dengan beberapa studi kasus sebagai berikut:

Tabel 4.1 Studi kasus pada simulasi aliran daya

No.	Studi kasus	Keterangan
1	Kasus 1	Konfigurasi awal sistem
2	Kasus 2	Rekonfigurasi Jaringan
3	Kasus 3	Penempatan Kapasitor Bank
4	Kasus 4	Rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank

Dari beberapa kasus diatas kemudian akan dapat ditentukan konfigurasi baru mana yang menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih baik dibandingkan konfigurasi awal.

4.1 Analisis Aliran Daya Sistem IEEE 16 Bus (Kasus 1)

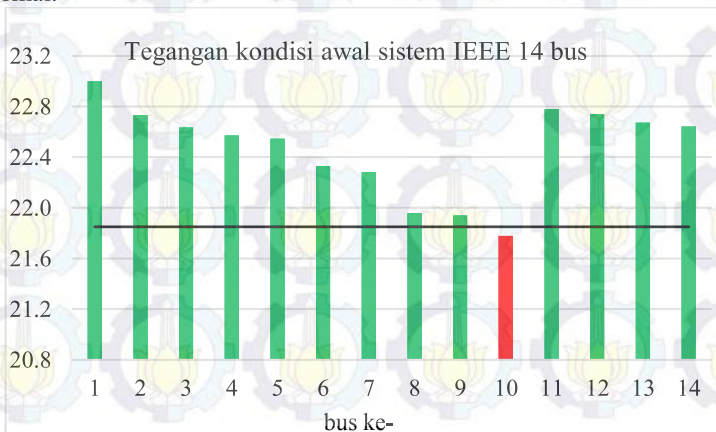
Bab ini akan membahas mengenai simulasi dan analisis aliran daya sistim distribusi radial menggunakan metode *Newton-Raphson*. Dari hasil simulasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi maka didapatkan nilai tegangan agar diketahui kondisi awal sistem sebelum dilakukan upaya perbaikan tegangan dengan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank pada jaringan.

Berikut ini merupakan hasil analisis aliran daya metode *Newton-Raphson* :

Tabel 4.2 Hasil perhitungan tegangan metode *Newton-Raphson* pada sistem IEEE 16 bus modifikasi

Bus No	Tegangan	
	besaran (kV)	sudut (derajat)
1	23,000	0,000
2	22,731	-0,271
3	22,637	-0,394
4	22,573	-0,536
5	22,547	-0,544
6	22,330	-0,314
7	22,281	-0,321
8	21,959	-0,675
9	21,940	-0,709
10	21,778	-0,811
11	22,779	-0,102
12	22,739	-0,135
13	22,673	-0,212
14	22,644	-0,238

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa pada kondisi semula rata-rata nilai tegangan semua bus pada sistem berada pada kondisi normal, kecuali pada bus 10 yang mengalami *undervoltage* karena kurang dari 0,95pu. pada kondisi tersebut maka tegangan harus diperbaiki agar menjadi normal.



Gambar 4.1 Grafik tegangan setiap bus pada kondisi awal sistem

4.2 Rekonfigurasi Jaringan Pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 2)

Rekonfigurasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan *switch* yang sudah terpasang pada sistem. IEEE 16 bus modifikasi mempunyai 3 buah *tie-switch* dan 10 *sectionalizing-switch* yang dapat digunakan untuk merubah konfigurasi jaringan dengan merubah buka tutup switch tersebut. Untuk merubah konfigurasi jaringan dilakukan dengan uji coba buka dan tutup *switch* secara manual. Kombinasi *switch* yang menghasilkan profil tegangan yang lebih baik dari kondisi awal sistem akan dipilih untuk konfigurasi sistem yang baru.

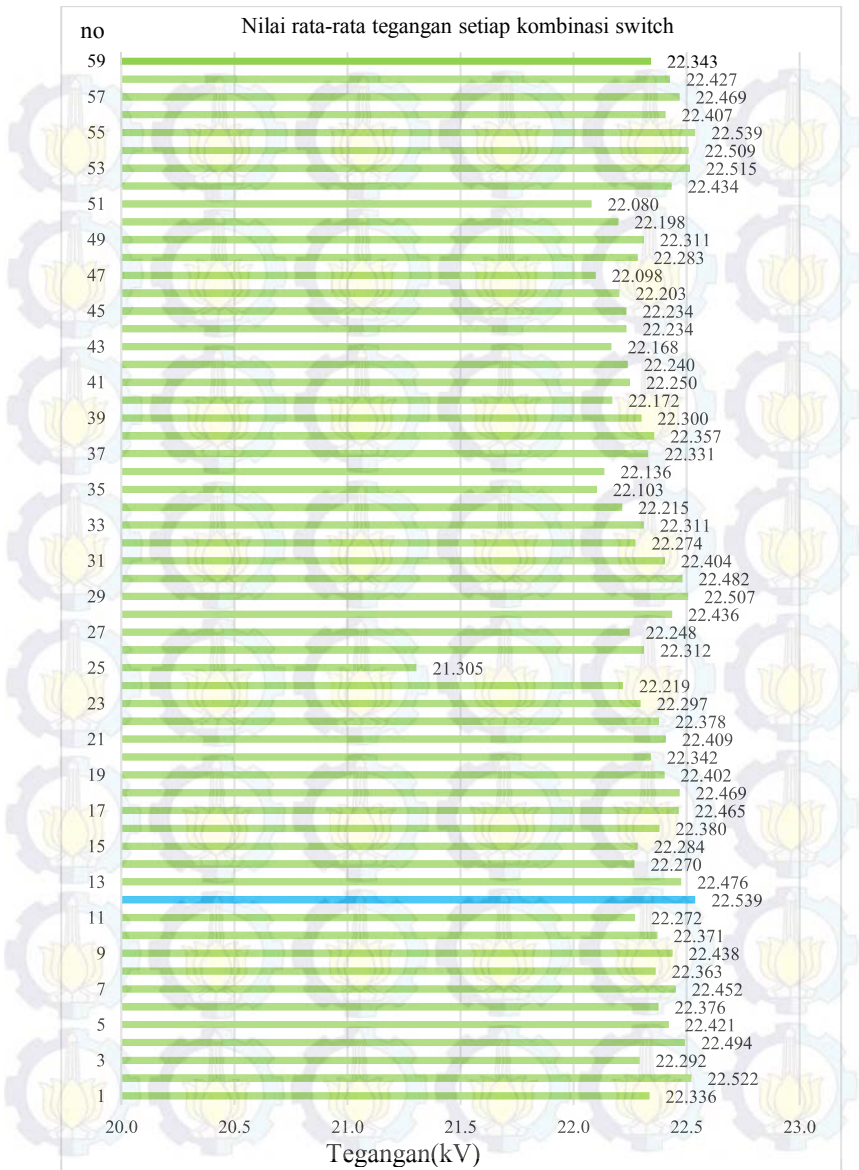
Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan kombinasi *switch* yang mungkin dilakukan. Berikut ini kombinasi yang dilakukan dalam penelitian :

Tabel 4.3 Kombinasi rekonfigurasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi

No	Switch ditutup	Switch dibuka	Rata-rata tegangan	tegangan terendah
1	15	12	22,336	21,541
2	15	19	22,522	21,813
3	15	18	22,292	21,093
4	21	17	22,494	21,830
5	21	24	22,421	21,730
6	26	13	22,376	21,778
7	26	14	22,452	22,778
8	26	23	22,363	21,778
9	26	25	22,438	21,778
10	15&21	12&17	22,371	21,569
11	15&21	12&24	22,272	21,495
12	15&21	19&17	22,539	21,865
13	15&21	19&24	22,476	21,765
14	15&21	18&17	22,270	21,865
15	15&21	18&24	22,284	21,093
16	21&26	17&13	22,380	21,830
17	21&26	17&14	22,465	21,830
18	21&26	17&23	22,469	21,830
19	21&26	17&25	22,402	21,830
20	21&26	24&13	22,342	21,730
21	21&26	24&14	22,409	21,730
22	21&26	24&23	22,378	21,730

Tabel 4.3 kombinasi rekonfigurasi pada sistem IEEE 16 bus modifikasi(Lanjutan)

No	Switch ditutup	Switch dibuka	Rata-rata tegangan	tegangan terendah
23	21&26	24&25	22,297	21,730
24	15&26	12&13	22,219	22,541
25	15&26	12&14	21,305	21,541
26	15&26	12&23	22,312	21,541
27	15&26	12&25	22,248	21,541
28	15&26	19&13	22,436	21,813
29	15&26	19&14	22,507	21,813
30	15&26	19&23	22,482	21,813
31	15&26	19&25	22,404	21,813
32	15&26	18&13	22,274	21,214
33	15&26	18&14	22,311	21,154
34	15&26	18&23	22,215	21,023
35	15&26	18&25	22,103	20,978
36	15&21&26	12&17&13	22,136	21,595
37	15&21&26	12&17&14	22,331	21,596
38	15&21&26	12&17&23	22,357	21,595
39	15&21&26	12&17&25	22,300	22,595
40	15&21&26	12&24&13	22,172	21,495
41	15&21&26	12&24&14	22,250	21,495
42	15&21&26	12&24&23	22,240	21,495
43	15&21&26	12&24&25	22,168	21,495
44	15&21&26	18&17&13	22,234	21,214
45	15&21&26	18&17&14	22,234	21,214
46	15&21&26	18&17&23	22,203	20,978
47	15&21&26	18&17&25	22,098	21,023
48	15&21&26	18&24&13	22,283	21,214
49	15&21&26	18&24&14	22,311	21,154
50	15&21&26	18&24&23	22,198	21,023
51	15&21&26	18&24&25	22,080	20,978
52	15&21&26	19&17&13	22,434	21,865
53	15&21&26	19&17&14	22,515	21,865
54	15&21&26	19&17&23	22,509	21,865
55	15&21&26	19&17&25	22,539	21,865
56	15&21&26	19&24&13	22,407	21,765
57	15&21&26	19&24&14	22,469	21,752
58	15&21&26	19&24&23	22,427	21,765
59	15&21&26	19&24&25	22,343	21,765



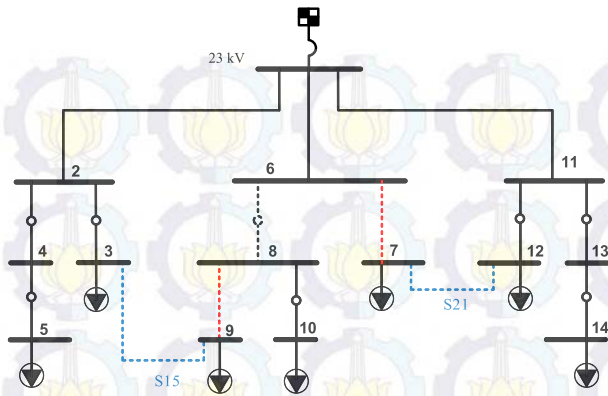
Gambar 4.2 Rata-rata tegangan sistem dengan setiap kombinasi *switch*

Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil peningkatan tegangan yang lebih signifikan dengan melakukan rekonfigurasi sesuai kombinasi nomor 12, dengan cara mengaktifkan *switch* S15(3,9), S21(7,12) serta memutus *switch* S19(3,9) dan S(6,7). Dengan merubah konfigurasi jaringan sesuai kombinasi tersebut rata-rata tegangan semua bus akan menjadi 22,539kV. hasil simulasi yang dilakukan menghasilkan profil tegangan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil analisa tegangan pada konfigurasi baru

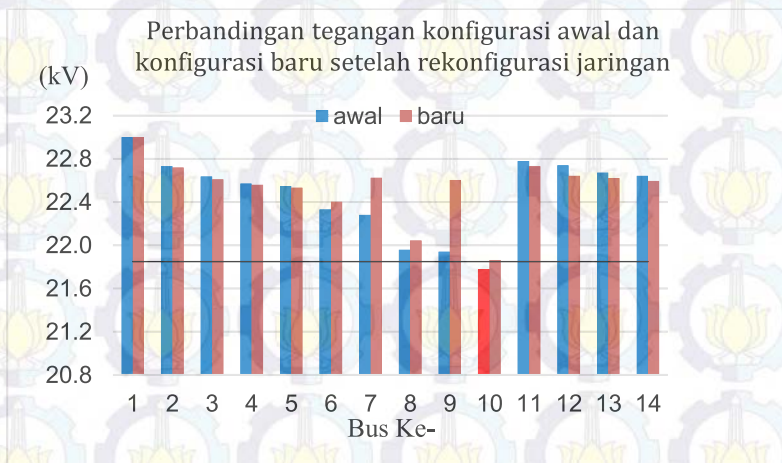
No Bus	Tegangan awal Magnitude (kV)	Tegangan baru Magnitude (kV)
1	23	23
2	22,731	22,718
3	22,637	22,609
4	22,573	22,559
5	22,547	22,534
6	22,330	22,401
7	22,281	22,625
8	21,959	22,045
9	21,940	22,603
10	21,778	21,865
11	22,779	22,730
12	22,739	22,643
13	22,673	22,623
14	22,644	22,594
Rata-rata	22,472	22,539

Dari data pada tabel 4.4 diperoleh hasil bahwa konfigurasi baru pada sistem ini akan menghasilkan rata-rata peningkatan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi awal. Peningkatan profil tegangan terlihat saat konfigurasi awal rata-rata tegangan setiap bus adalah 22,472kV. Saat menerapkan konfigurasi baru, rata-rata semua bus menjadi sebesar 22,539kV. dapat dilihat pula bahwa tegangan pada bus 10 sebesar 21,865kV sudah menjadi normal yaitu berada di atas diatas 0,95pu akibat rekonfigurasi.



Gambar 4.3 Konfigurasi baru IEEE 16 bus modifikasi setelah rekonfigurasi

Konfigurasi awal single line diagram IEEE 16 bus modifikasi dapat dilihat pada gambar 3.7, sedangkan konfigurasi baru sistem setelah rekonfigurasi jaringan dapat dilihat di grafik pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan tegangan konfigurasi awal dan konfigurasi baru

4.3 Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 3)

Pada tugas akhir ini, analisa penempatan kapasitor bank pada jaringan distribusi bertujuan untuk meningkatkan profil tegangan. Lokasi penempatan kapasitor bank ditentukan menggunakan metode *Loss Sensitivity Factor* (LSF). Lokasi penempatan kapasitor bank dilakukan pada bus yang mempunyai indeks LFS terbesar dan mempunyai indeks normalisasi kurang dari 1,01.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan indeks *Loss Sensitivity Factor* konfigurasi awal

Bus	LSF	Normaliasi
2	0,0079	1,0403
3	0,0025	1,0360
4	0,0037	1,0331
5	0,0010	1,0319
6	0,0243	1,0220
7	0,0021	1,0197
8	0,0117	1,0050
9	0,0002	1,0041
10	0,0062	0,9967
11	0,0079	1,0425
12	0,0013	1,0407
13	0,0031	1,0376
14	0,0008	1,0363

Berdasarkan tabel 4.5 dan penempatan kapasitor bank akan dilakukan pada bus 8 dan bus 10. Nilai kapasitor yang akan digunakan akan dipasang berdasarkan kebutuhan daya reaktif beban total sebesar 18.8MVar. Berdasarkan data tersebut maka nilai kapasitor yang digunakan haruslah lebih kecil dari 18,8Mvar agar tidak terjadi kompensasi yang berlebihan dan tegangan bus menjadi *overvoltage*.

Mengacu pada kapasitas kapasitor yang terdapat di dalam kondisi praktis, kapasitor yang digunakan adalah 1800 kVar. nilai tersebut

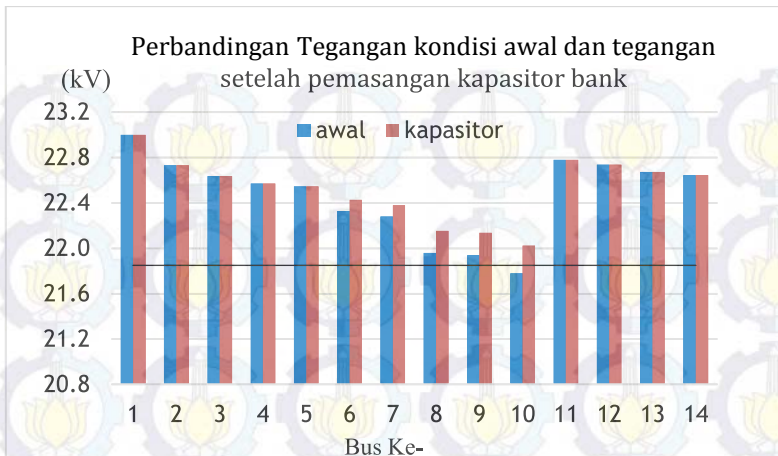
merupakan nilai kapasitor terbesar yang terdapat pada kondisi dilapangan.

Tabel 4.6 Hasil analisis tegangan akibat penempatan kapasitor bank

Bus	Tegangan	
	magnitude (kV)	magnitude (kV)
1	23.000	23.000
2	22.731	22.731
3	22.637	22.637
4	22.573	22.573
5	22.547	22.547
6	22.330	22.429
7	22.281	22.379
8	21.959	22.155
9	21.940	22.136
10	21.778	22.023
11	22.779	22.779
12	22.739	22.739
13	22.673	22.673
14	22.644	22.644
Rata-rata	22.472	22.532

Dari hasil simulasi tersebut akibat pemasangan kapasitor bank pada jaringan, rata-rata tegangan setiap bus akan meningkat menjadi 22,532kV dan bus yang mengalami *undervoltage* yaitu bus 10 menjadi normal setelah pemasangan kapasitor.

Kenaikan rata-rata akibat penempatan kapasitor masih lebih kecil dibandingkan dengan rekonfigurasi jaringan. Perbandingan tegangan antara kondisi awal dan kondisi setelah pemasangan kapasitor bank pada jaringan dapat dilihat pada gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara tegangan konfigurasi awal dan tegangan akibat pemasangan kapasitor bank

4.4 Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan kapasitor bank pada sistem IEEE 16 bus (Kasus 4)

Pada sub bab ini digunakan rekonfigurasi dan kapasitor bank secara bersamaan untuk meningkatkan profil tegangan. Konfigurasi baru yang digunakan adalah konfigurasi pada gambar 4.3. Dari konfigurasi yang sudah dipilih nilai LSF dari setiap bus akan dicari untuk menentukan kandidat bus yang akan digunakan untuk pemasangan kapasitor bank agar menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih signifikan. Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan indeks *Loss Sensitivity Factor* pada konfigurasi baru

Bus	LSF	norm
2	0,00807	1,03973
3	0,00265	1,03475
9	0,00166	1,03247
4	0,00225	1,03131
5	0,00793	1,02522

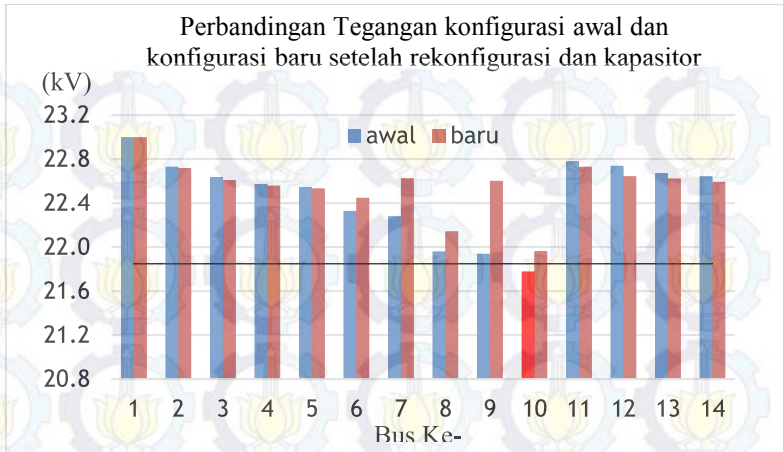
Tabel 4.7 Hasil perhitungan indeks *Loss Sensitivity Factor* pada konfigurasi baru(Lanjutan)

Bus	LSF	norm
6	0,00205	1,03548
8	0,01139	1,00893
10	0,00017	1,03445
11	0,00852	1,00068
12	0,00816	1,04027
7	0,00058	1,03629
13	0,00315	1,03538
14	0,00083	1,03405

Dari tabel 4.8 maka kandidat bus yang digunakan untuk pemasangan kapasitor bank adalah bus 8 karena memenuhi syarat normalisasi serta mempunyai indeks LSF yang besar. Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.8 Hasil analisis tegangan akibat rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank

No Bus	Tegangan	
	magnitude (kV)	magnitude (kV)
1	23,000	23,000
2	22,731	22,718
3	22,637	22,609
4	22,573	22,559
5	22,547	22,534
6	22,330	22,450
7	22,281	22,625
8	21,959	22,143
9	21,940	22,603
10	21,778	21,963
11	22,779	22,730
12	22,739	22,643
13	22,673	22,623
14	22,644	22,594
Rata-rata	22,472	22,557



Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara tegangan konfigurasi awal dan tegangan akibat rekonfigurasi jaringan dan pemasangan kapasitor bank

Apabila hanya rekonfigurasi jaringan atau hanya penempatan kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki profil tegangan, maka penggunaan rekonfigurasi jaringan dan kapaitor bank secara bersamaan .



Gambar 4.7 Grafik perbandingan rata-rata tegangan untuk semua studi kasus

Dari grafik 4.5 rekonfigurasi dan kapasitor bank dapat dilakukan untuk memperbaiki profil tegangan. Namun peningkatan tegangan yang lebih signifikan terjadi ketika rekonfigurasi jaringan dan kapasitor bank dilakukan secara bersamaan.

4.5 Perbandingan Analisis Aliran Daya Metode *Newton-Raphson* Untuk Aplikasi Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor Dengan ETAP 12,6

Untuk mengetahui akurasi perhitungan, baik implementasi metode *Newton-Raphson* maupun rekonfigurasi jaringan serta pemasangan kapasitor bank, maka metode tersebut perlu pembandingan dan validasi untuk membuktikan kebenaran metode tersebut.

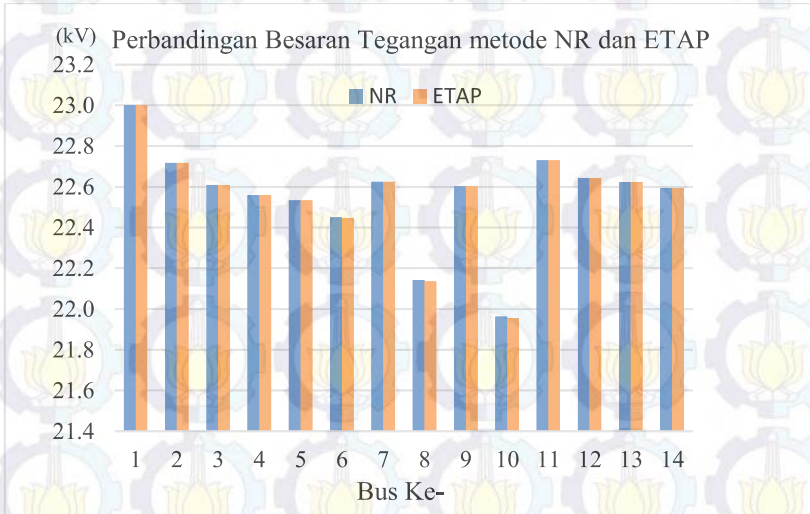
Pada tugas akhir ini ETAP 12,6 digunakan sebagai pembandingan karena *software* tersebut mampu digunakan untuk analisa aliran daya sistim distribusi dan sudah digunakan secara riil pada industri.

Berikut adalah data perbandingan hasil analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* dengan *software* etap 12,6 untuk sistem IEEE 16 bus modifikasi.

Tabel 4.9 Hasil validasi perhitungan tegangan metode *Newton-Raphson* pada IEEE 16 bus dengan konfigurasi baru dan kapasitor

Bus	Newton-Raphson		ETAP		Error (%)	
	Tegangan		Tegangan			
No	Besaran (kV)	sudut (derajat)	Besaran (kV)	sudut (derajat)	besaran	sudut
1	23,00000	0,00000	23,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	22,71799	-0,30120	22,71802	-0,30120	0,00011	0,00077
3	22,60934	-0,45935	22,60923	-0,45935	0,00048	0,00097
4	22,55937	-0,56741	22,55932	-0,56741	0,00022	0,00009
5	22,53402	-0,57457	22,53402	-0,57457	0,00002	0,00083
6	22,44997	-0,39082	22,44639	-0,38228	0,01594	2,23388
7	22,62524	-0,16694	22,62533	-0,16694	0,00038	0,00049
8	22,14274	-0,79873	22,13566	-0,78390	0,03199	1,89138
9	22,60278	-0,47121	22,60279	-0,47121	0,00003	0,00052
10	21,96324	-0,93272	21,95603	-0,91799	0,03285	1,60478
11	22,72997	-0,10802	22,72998	-0,10802	0,00004	0,00421
12	22,64301	-0,16457	22,64304	-0,16457	0,00012	0,00161
13	22,62297	-0,21947	22,62303	-0,21947	0,00028	0,00185
14	22,59393	-0,24556	22,59382	-0,24556	0,00049	0,00127

Berdasarkan validasi pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan tegangan setelah rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank mempunyai *error* yang cukup kecil dibandingkan dengan ETAP 12,6. Nilai *error* terbesar yang dihasilkan sebesar 0,03285 % untuk besaran dan 2,23388 % untuk sudut tegangan.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Metode *Newton-Raphson* Dengan ETAP pada IEEE 16 bus modifikasi dengan konfigurasi baru dan kapasitor bank.

DAFTAR PUSTAKA

1. U. Thongkrajay, N. Poolsawat, T. Ratniyomchai & T. Kulwanichpong "Alternative Newton-Raphson Power Flow Calculation in Unbalance Three-Phase Distribution Systems", Proceedings of 5th WSEAS International conference on Application of electrical engineering . 2, Mei 2007
2. Horacio Diaz R., Ildefonso Harnisch V., Raul Sanhueza H., "Feeder Reconfiguration And Capacitor Placement In Distribution Systems: An Approach For Simultaneous Solution Using A Genetic Algorithm", Revista Chilena de ingnierira, Vol 18 No 1, 2010,pp 144-153.
3. Suhadi, "Teknik Distribusi Tenaga Listrik", Departemen pendidikan nasional, jakarta, 17 agustus 2008.
4. Penangsang, Ontoseno. "Analisis Aliran Daya". ITS Press, Surabaya, 2006.
5. Saadat, Hadi. "Power System Analysis (Second Edition)", McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
6. T. Kulwanichpong " Simplified Newton-Raphson power flow solution method", Journal of electrical and energy systems 32(2010) 551-558. , Thailand, 6 Nopember 2009.
7. Mirzaeian, Dehkordi. "Optimal Capacitor Placement and Sizing in TABRIZ Distribution System Using Loss Sensitivity Factors and Particle Swarm Optimization (PSO)", ITS, Surabaya, 2012.
8. Priambodo, Pungky. "Analisis Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang Menggunakan Metode K-Matrik Dan Z_{br} Pada Sistem Distribusi 20kV Kota Surabaya", ITS, Surabaya, 2012.



BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Memperbaiki tegangan pada jaringan distribusi IEEE 16 bus modifikasi dengan rekonfigurasi jaringan akan meningkatkan rata-rata tegangan dari 22,447kV menjadi 22,539kV. Memperbaiki tegangan dengan kapasitor bank akan meningkatkan profil tegangan menjadi 22,532 sedangkan saat menggunakan rekonfigurasi dan kapasitor bank akan menghasilkan profil tegangan menjadi 22,557kV.

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan bahwa analisa aliran daya metode *Newton-Raphson* dapat digunakan untuk aplikasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor bank pada IEEE 16 bus modifikasi. Berdasarkan hasil validasi dengan software ETAP metode *Newton-Raphson* mempunyai *error* terbesar dengan nilai 0.03285%

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

Mempertimbangkan penerapan kecerdasan buatan untuk rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi kapasitor agar penentuan konfigurasi baru berjalan lebih cepat.



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi

kombinasi	1	2	3	4	5	6
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,820	22,369	22,718	22,841	22,787	22,627
3	21,541	21,886	22,609	22,747	22,692	22,532
4	22,662	22,207	22,559	22,203	22,711	22,318
5	22,637	22,182	22,534	22,229	22,444	22,245
6	22,202	22,780	22,350	22,330	22,330	22,330
7	22,152	22,732	22,301	22,281	22,281	22,281
8	21,726	21,280	21,993	21,959	21,959	21,959
9	21,585	21,720	22,603	21,940	21,940	21,940
10	21,543	21,093	21,813	21,778	21,778	21,778
11	22,779	22,779	22,779	22,633	22,708	22,908
12	22,739	22,739	22,739	22,592	22,668	22,868
13	22,673	22,673	22,673	22,405	22,541	22,142
14	22,644	22,644	22,644	22,323	22,487	22,160
Rata-rata	22,336	22,292	22,522	22,376	22,452	22,363

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	7	8	9	10	11	12
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,668	22,731	22,731	22,820	22,820	22,718
3	22,573	22,637	22,637	21,493	21,595	22,609
4	22,421	22,573	22,573	22,662	22,662	22,559
5	22,366	22,547	22,547	22,637	22,637	22,534
6	22,330	22,382	22,284	22,155	22,253	22,401
7	22,281	22,625	22,190	22,060	22,625	22,625
8	21,959	22,011	21,912	21,678	21,779	22,045
9	21,940	21,992	21,893	21,537	21,639	22,603
10	21,778	21,830	21,730	21,495	21,596	21,865
11	22,860	22,730	22,823	22,823	22,730	22,730
12	22,819	22,643	22,174	22,044	22,643	22,643
13	22,818	22,623	22,717	22,717	22,623	22,623
14	22,311	22,594	22,688	22,688	22,594	22,594
Rata-rata	22,438	22,494	22,421	22,272	22,371	22,539

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	13	14	15	16	17	18
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,369	22,369	22,718	22,787	22,841	22,668
3	21,886	21,886	22,609	22,692	22,747	22,573
4	22,207	22,207	22,559	22,711	22,151	22,421
5	22,182	22,182	22,534	22,393	22,178	22,366
6	22,829	22,736	22,304	22,382	22,382	22,382
7	22,625	22,643	22,210	22,553	22,477	22,706
8	21,280	21,280	21,947	22,011	22,011	22,011
9	21,720	21,720	22,603	21,992	21,992	21,992
10	21,093	21,093	21,765	21,830	21,830	21,830
11	22,730	22,823	22,823	22,658	22,582	22,811
12	22,643	22,627	22,193	22,571	22,495	22,724
13	22,623	22,717	22,717	22,491	22,354	22,769
14	22,594	22,688	22,688	22,436	22,272	22,311
Rata-rata	22,270	22,284	22,476	22,465	22,380	22,469

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	19	20	21	22	23	24
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,627	22,841	22,787	22,627	22,668	22,928
3	22,532	22,747	22,692	22,532	22,573	21,541
4	22,318	22,248	22,711	22,318	22,421	22,203
5	22,245	22,275	22,488	22,245	22,366	22,229
6	22,382	22,284	22,284	22,284	22,284	22,202
7	22,755	22,190	22,190	22,190	22,190	22,152
8	22,011	21,912	21,912	21,912	21,912	21,726
9	21,992	21,893	21,893	21,893	21,893	21,585
10	21,830	21,730	21,730	21,730	21,730	21,543
11	22,860	22,677	22,752	22,952	22,903	22,633
12	22,773	22,174	22,174	22,174	22,174	22,592
13	22,142	22,450	22,586	22,142	22,862	22,405
14	22,160	22,368	22,531	22,160	22,311	22,323
Rata-rata	22,402	22,342	22,409	22,297	22,378	22,219

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	25	26	27	28	29	30
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,875	22,717	22,757	22,828	22,774	22,614
3	21,541	21,541	21,541	22,720	22,665	22,505
4	22,800	22,409	22,511	22,203	22,698	22,304
5	22,444	22,336	22,456	22,229	22,444	22,231
6	22,202	22,202	22,202	22,350	22,350	22,350
7	22,152	22,152	22,152	22,301	22,301	22,301
8	21,726	21,726	21,726	21,993	21,993	21,993
9	21,585	21,585	21,585	22,713	22,659	22,498
10	21,543	21,543	21,543	21,813	21,813	21,813
11	22,708	22,908	22,860	22,633	22,708	22,908
12	22,668	22,868	22,819	22,592	22,668	22,868
13	22,541	22,233	22,818	22,405	22,541	22,128
14	22,487	22,251	22,402	22,323	22,487	22,146
Rata-rata	22,305	22,248	22,312	22,436	22,507	22,404

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	31	32	33	34	35	36
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,655	22,482	22,426	22,261	22,303	22,928
3	22,546	22,003	21,945	21,776	21,819	21,595
4	22,407	22,203	22,349	21,946	22,051	22,151
5	22,352	22,229	22,444	21,871	21,995	22,178
6	22,350	22,780	22,780	22,780	22,780	22,253
7	22,301	22,732	22,732	22,732	22,732	22,477
8	21,993	21,400	21,340	21,166	21,211	21,779
9	22,539	21,837	21,779	21,608	21,652	21,639
10	21,813	21,214	21,154	20,978	21,023	21,596
11	22,860	22,633	22,708	22,908	22,860	22,582
12	22,819	22,592	22,668	22,868	22,819	22,495
13	22,818	22,405	22,541	21,766	22,818	22,354
14	22,298	22,323	22,487	21,785	21,940	22,272
Rata-rata	22,482	22,274	22,311	22,103	22,215	22,236

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	37	38	39	40	41	42
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,875	22,717	22,757	22,928	22,875	22,717
3	21,595	21,595	21,595	21,493	21,493	21,493
4	22,800	22,409	22,511	22,248	22,800	22,409
5	22,393	22,336	22,456	22,275	22,488	22,336
6	22,253	22,253	22,253	22,155	22,155	22,155
7	22,553	22,755	22,706	22,060	22,060	22,060
8	21,779	21,779	21,779	21,678	21,678	21,678
9	21,639	21,639	21,639	21,537	21,537	21,537
10	21,596	21,596	21,596	21,495	21,495	21,495
11	22,658	22,860	22,811	22,677	22,752	22,952
12	22,571	22,773	22,724	22,044	22,044	22,044
13	22,491	22,233	22,769	22,450	22,586	22,233
14	22,436	22,251	22,402	22,368	22,531	22,251
Rata-rata	22,331	22,300	22,357	22,172	22,250	22,168

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	43	44	45	46	47	48
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,757	22,482	22,426	22,261	22,303	22,828
3	21,493	22,003	21,945	21,776	21,819	22,720
4	22,511	22,248	22,349	21,946	22,051	22,151
5	22,456	22,275	22,488	21,871	21,995	22,178
6	22,155	22,736	22,736	22,736	22,736	22,401
7	22,060	22,643	22,643	22,643	22,643	22,477
8	21,678	21,400	21,340	21,166	21,211	22,045
9	21,537	21,837	21,779	21,608	21,652	22,713
10	21,495	21,214	21,154	20,978	21,023	21,865
11	22,903	22,677	22,752	22,952	22,903	22,582
12	22,044	22,627	22,627	22,627	22,627	22,495
13	22,862	22,450	22,586	21,766	22,862	22,354
14	22,402	22,368	22,531	21,785	21,940	22,272
Rata-rata	22,240	22,283	22,311	22,080	22,198	22,434

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	49	50	51	52	53	54
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,774	22,718	22,655	22,828	22,774	22,614
3	22,665	22,609	22,546	22,720	22,665	22,505
4	22,698	22,559	22,407	22,248	22,698	22,304
5	22,393	22,534	22,352	22,275	22,488	22,231
6	22,401	22,401	22,401	22,304	22,304	22,304
7	22,553	22,625	22,706	22,210	22,210	22,210
8	22,045	22,045	22,045	21,947	21,947	21,947
9	22,659	22,603	22,539	22,713	22,659	22,498
10	21,865	21,865	21,865	21,765	21,765	21,765
11	22,658	22,730	22,811	22,677	22,752	22,952
12	22,571	22,643	22,724	22,193	22,193	22,193
13	22,491	22,623	22,769	22,450	22,586	22,128
14	22,436	22,594	22,298	22,368	22,531	22,146
Rata-rata	22,515	22,539	22,509	22,407	22,469	22,343

Tabel 5. Tegangan yang dihasilkan setiap kombinasi rekonfigurasi (Lanjutan)

kombinasi	55	56	57	58	59
No	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)	teg (kV)
1	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
2	22,655	22,482	22,482	22,261	22,303
3	22,546	22,003	22,003	21,776	21,819
4	22,407	22,151	22,151	21,946	22,051
5	22,352	22,178	22,178	21,871	21,995
6	22,304	22,829	22,829	22,829	22,829
7	22,210	22,477	22,477	22,755	22,706
8	21,947	21,400	21,400	21,166	21,211
9	22,539	21,837	21,837	21,608	21,652
10	21,765	21,214	21,214	20,978	21,023
11	22,903	22,582	22,582	22,860	22,811
12	22,193	22,495	22,495	22,773	22,724
13	22,862	22,354	22,354	21,766	22,769
14	22,298	22,272	22,272	21,785	21,940
Rata-rata	22,427	22,234	22,234	22,098	22,203